

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та роботехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка системи автоматизації для управління якістю повітря у виробничому приміщенні
(тема)

Виконав:

студент IV курсу, групи АКТАКІТ-20-1
Сириця О. О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сезонова І. К.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«12» червня 2024 року

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized letter 'С' followed by 'ир' and a flourish.

Сириця О.О.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра КІТАМ

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____

(підпис)

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Сириці Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації для управління якістю повітря у виробничому приміщенні

Затверджена наказом по університету від 03.06.2024 р. № 544 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Фреймворк avalonia, мова програмування C#, середовище розробки Microsoft Visual Studio, мікроконтролер ESP32, середовище розробки Arduino IDE, мова програмування C++.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Вступ;

Аналіз технічного завдання;

Методи контролю якості повітря;

Розробка макету системи;

Розрахунки для моделювання системи автоматичного управління;

Охорона праці;

Висновки;

Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації PowerPoint (*.pptx) – 14 с.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	29.04 – 01.05.24	виконано
2	Визначення методів контролю якості повітря	13.05 – 18.05.24	виконано
3	Розробка макету системи	19.05 – 21.05.24	виконано
4	Розробка коду для мікроконтролера ESP-32	22.05 – 30.05.24	виконано
5	Розробка програми управління системою	31.05 – 10.06.24	виконано
6	Охорона праці	11.06 – 12.06.24	виконано
7	Подання роботи на перевірку на плагіат	13.06 – 15.06.24	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	15.06 – 15.06.24	виконано
9	Подання роботи на рецензію	15.06 – 16.06.24	виконано
10	Подання роботи на підпис зав. кафедри	17.06 – 19.06.24	виконано
11	Подання атестаційної роботи в ЕК	20.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

Студент


(підпис)

Сириця О. О.

Керівник роботи

(підпис)

проф. Сезонова І. К.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 73 с., 15 табл., 37 рис., 2 дод., 15 джерел.

AVALONIA, ESP32, WIFI, СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ, ВЕБ-СЕРВЕР, СТАНДАРТИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИКИ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ, ФІЛЬТРИ.

Мета роботи – підвищення якості повітря у виробничому приміщенні за допомоги системи, яка має декілька режимів роботи в залежності від потреб виробництва та керує діями забезпечуючих пристроїв на основі показань спеціальних датчиків в режимі реального часу.

Об'єкт розробки – регулювання роботи пристроями, які забезпечують якість повітря у приміщенні, яка, в свою чергу, є критичним показником для даного типу виробництва.

Предмет розробки – програмно-апаратна система управління якістю повітря у виробничому приміщенні.

Методи дослідження – аналіз існуючих систем, аналіз методів контролю параметрів, розробка лабораторного макету.

В кваліфікаційній роботі розглянуто актуальні питання за темою, запропоновано систему автоматизації для виробничих приміщень.

Спроековано та створено лабораторний макет системи автоматизації для управління якістю повітря у виробничому приміщенні. Також розроблено програмний продукт для управління системою, за допомогою якого здійснюється включення та виключення системи, а також регулювання температури і вологості повітря.

Також була розроблена модель системи автоматичного управління згідно теорії автоматичного управління, це дає змогу оптимізувати параметри регуляторів для досягнення бажаних значень показників якості повітря.

ABSTRACT

Explanatory note: 73 p., 15 tabl., 37 fig., 2 adj., 15 sources.

AVALONIA, ESP32, WIFI, AUTOMATION SYSTEM, AIR QUALITY, WEB SERVER, AIR QUALITY STANDARDS, MICROCONTROLLER, AIR QUALITY SENSORS, FILTERS.

The aim of the work is to develop an automation system for managing air quality in a production facility, which has several operating modes depending on the needs of production and controls the actions of the supply devices based on the readings of special sensors in real time.

The object of development is to regulate the operation of devices that ensure indoor air quality, which, in turn, is a critical indicator for this type of production.

The subject of development is a software and hardware system for managing air quality in a production facility.

Research methods – analysis of existing systems, analysis of methods of parameter control, development of a laboratory model.

The qualification work considers topical issues on the topic, proposes an automation system for industrial premises.

A laboratory model of an automation system for managing air quality in a production facility was designed and built. A software product was also developed to control the system, which is used to switch the system on and off, as well as to regulate air temperature and humidity.

A model of the automatic control system was also developed in accordance with the theory of automatic control, which makes it possible to optimise the parameters of the regulators to achieve the desired air quality indicators.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз технічного завдання.....	12
1.1 Аналіз виробничих приміщень	12
1.2 Аналіз методів моніторингу якості повітря.....	13
1.3 Аналіз існуючих систем.....	14
1.4 Аналіз датчиків та сенсорів для моніторингу якості повітря	18
1.5 Аналіз вимог до системи управління	24
2 Методи контролю якості повітря.....	25
2.1 Методи контролю якості повітря за допомоги фільтрів	25
2.2 Методи контролю летких органічних сполук у повітрі.....	29
2.3 Методи контролю вологості у повітрі	30
2.4 Методи контролю температури у повітрі.....	33
2.5 Параметри якості повітря	36
3 Розробка макету системи.....	40
3.1 Компоненти макету та їх опис.....	40
3.2 Складання макету системи	49
3.3 Розробка коду для мікроконтролера ESP-32.....	51
3.4 Розробка програми управління системою.....	54
4 Розрахунки для моделювання системи автоматичного управління	60
4.1 Розрахунок математичних рівнянь.....	60
4.2 Опис об'єкту управління	63
4.3 Побудова моделі системи автоматичного управління	64
4.4 Охорона праці	67

Висновки	69
Перелік джерел посилань	71
Додаток А Код програми для ESP32	74
Додаток Б Код програми управління системою	80
Додаток В Демонстраційний матеріал у вигляді презентації	95
Додаток Г Відомість кваліфікаційної роботи бакалавра	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КІТАР – Комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки;

ЛОС – леткі органічні сполуки;

СКБ – Студентське конструкторсько-технологічне бюро;

ТАУ – теорія автоматичного управління;

ХНУРЕ – Харківський національний університет радіоелектроніки;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

AQI (Air Quality Index) – індекс якості повітря;

EPA (Efficient Particulate Arrestance) – ефективні аерозольні фільтри;

HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance) – високоефективні аерозольні фільтри;

МОХ (Metal Oxide Semiconductor) – металооксидний напівпровідник;

TPC (Total Particle Counter) – загальний лічильник частинок

TVOC (Total Volatile Organic Compounds) – загальна кількість летких органічних сполук.

ВСТУП

На сьогоднішній день автоматизація управління якістю повітря є дуже актуальною у сучасному промисловому середовищі. Забезпечення високої якості повітря в промислових приміщеннях має велике значення для здоров'я та продуктивності працівників, а також для ефективності виробничих процесів.

У багатьох галузях існують строгі стандарти якості повітря, яких потрібно дотримуватися з метою забезпечення безпеки працівників та якості виробничих процесів, так як певні процеси виробництва можуть бути чутливі до змін у складі повітря, вологості та температури. Автоматизована система контролю якості повітря може допомогти в цьому, забезпечуючи постійний контроль та регулювання якості повітря і стабільні умови, що сприяють ефективності та якості виробництва.

Мета роботи – підвищення якості повітря у виробничому приміщенні за допомоги системи, яка має декілька режимів роботи в залежності від потреб виробництва та керує діями забезпечуючих пристроїв на основі показань спеціальних датчиків в режимі реального часу.

Об'єкт розробки – регулювання роботи пристроями, які забезпечують якість повітря у приміщенні, яка, в свою чергу, є критичним показником для даного типу виробництва.

Предмет розробки – програмно-апаратна система управління якістю повітря у виробничому приміщенні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз існуючих проєктів;
- провести аналіз приміщень, котрим потрібна подібна система;
- провести аналіз вимог до системи управління;
- провести аналіз методів контролю якості повітря;
- визначити стандарти якості повітря;

- розробити макет системи;
- розробити програму для системи автоматизації якості повітря;
- зробити розрахунки для моделювання системи автоматичного управління;
- написати підрозділ про охорону праці;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

Робота відповідає дев'ятій цілі сталого розвитку. Промисловість, інновації та інфраструктура.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Щоб провести аналіз технічного завдання для системи автоматизації управління якістю повітря у виробничому приміщенні потрібно детально розглянути приміщення, які потребують певну якість повітря, функціональні вимоги, технічні характеристики, переглянути методи моніторингу якості та проаналізувати існуючі системи.

1.1 Аналіз виробничих приміщень

Першим можна розглянути електронну промисловість, тобто виробничі приміщення, де виготовляються електронні компоненти, зокрема плати, важливо забезпечити стабільні умови щодо чистоти повітря, оскільки навіть невеликі частки в повітрі можуть призвести до несправностей в електронних пристроях, тому важливо вимірювати концентрацію часток, а стабільні умови щодо температури та вологості допомагають уникнути конденсації та корозії електронних компонентів та нездорового стану людей на підприємстві. Також ще можна додати що деякі гази, такі як оксиди азоту, сірки або озон, можуть бути шкідливими для електронних компонентів та людини, тому важливо вимірювати їх концентрацію в повітрі.

Друге що буде розглянуте це фармацевтичні промисловості. У фармацевтичному виробництві дотримання високих стандартів чистоти та якості повітря є критичним, оскільки будь-які забруднення можуть вплинути на ефективність та безпеку медичних препаратів. Потрібно вимірювати дуже багато різних елементів, які можуть зоставитись у повітрі, після різних процесів приготування ліків та інших фармацевтичних виробів.

Третя промисловість є автомобільної. У виробництві автомобілів важливо контролювати рівень забруднення повітря, особливо в приміщеннях, де проводяться роботи з фарбуванням, лакуванням або зварюванням, оскільки

дим та інші виділення можуть бути шкідливими для здоров'я працівників, потрібно постійно вимірювати вміст вуглекислого газу у повітрі та застосовувати вентиляційну систему, щоб витягувати неякісне та впускати якісне повітря оптимальної температури.

Також слід відмітити, що ця система може застосовуватися і у медичних установах, але від цього буде змінюватись типи датчиків та фільтрів. У лікарнях та інших медичних установах контроль якості повітря є особливо важливим для запобігання передачі інфекцій та забезпечення комфортних умов для пацієнтів, що також сприяє більш швидкому одруженню та зменшує ризик захворювання персоналу.

У цьому проєкті будемо вважати, що все робиться для приміщення з електронною промисловістю.

1.2 Аналіз методів моніторингу якості повітря

В основному методи моніторингу якості повітря можна розділити на ці типи:

- сенсорні системи моніторингу;
- лазерні або оптичні методи;
- хімічний аналіз;
- дистанційне зондування.

Сенсорні системи повністю складаються з датчиків, які вимірюють рівень забруднення повітря, таких як різні частинки, гази, температура та вологість, а також для контролю електростатичного зарядження повітря використовуються спеціалізовані датчики, які дозволяють виявляти можливість появи статичного розряду. Ці сенсори можуть бути розміщені в різних точках виробничих приміщень для постійного моніторингу.

Лазерні та оптичні методи дозволяють отримувати точні дані про розмір та концентрацію часток. У автоматизованих системах такого типу зазвичай використовуються спеціалізовані датчики та прилади, які автоматично

здійснюють процеси вимірювання, аналізу та збору даних про якість повітря. Ці системи можуть бути програмовані для автоматичного виконання різних функцій, таких як моніторинг, запис даних, відображення результатів та навіть автоматичне виконання певних заходів, таких як активація систем вентиляції або сигналізація при перевищенні допустимих рівнів забруднення. Але такі систему більше потребують втручання людини для технічної підтримки обладнання, калібрування датчиків, а також для аналізу складних ситуацій або вирішення проблем.

Хімічний аналіз це лабораторний метод і він може бути проведений тільки у лабораторіях для визначення концентрації різних газів та хімічних сполук, таких як оксиди азоту, сірки тощо. Можна відразу відмовитися від цього методу, так як він не підходить під ціль автоматизації.

Дистанційне зондування є сукупністю сучасних технологій та знань які дозволяють використовувати супутникові дані та дрони для дистанційного зондування якості повітря на великих територіях або в труднодоступних місцях. Так як це не підходить для приміщення від нього також можна відмовитись.

У висновок цього аналізу можна сказати що є два методи які можливо застосувати у системі, але якщо їх порівняти то вийде що проста сенсорна система більш надійна та більш економічно вигідна для підприємства.

1.3 Аналіз існуючих систем

Системи вентиляції з рекуперацією тепла. Ці системи використовуються для відведення забрудненого повітря з приміщення та подачі свіжого повітря зовні. Рекуперація тепла дозволяє економити енергію шляхом передачі тепла з витяжного повітря на свіже.

Рекуперація це повернення частини енергії для повторного її використання в тому ж технологічному процесі.

Такий тип вентиляції передбачає використання припливно-витяжної установки з утилізацією тепла, припливних і витяжних повітропроводів, повітрозабірних пристроїв.

Припливно-витяжні установки з пластинчастими рекуператорами дозволяють зменшити витрати на підігрівання припливного повітря на 60-70%, їх вид представлено на рисунку 1.1. У основі таких пристроїв лежить пластинчастий перехресно-потоківий рекуператор – пакет тонких металевих пластин, листів пластика або спеціально обробленої целюлози, між якими залишені проміжки. Повітря, що видаляється з приміщення, проходить в кожному другому проміжку між пластинами, а зовнішнє повітря, що поступає в приміщення, проходить через решітку каналів. Рекуператори з пластинами з целюлози мають особливість вирівнювати концентрацію водяної пари в припливному, та витяжному повітрі (здатність осушувати або зволожувати припливне повітря). Завдяки цьому влітку можна помітно скорочувати тривалість роботи системи кондиціонування повітря. Окрім рекуператора, в корпусі припливно-витяжної установки є припливний та витяжний вентилятори, фільтри, які забезпечують очищення повітря від пилу, електронагрівач та інші елементи. Контроль температури здійснюється за допомогою системи автоматичного регулювання потужності за показниками датчика температури, встановленого в потоці повітря, яке подається в приміщення.



Рисунок 1.1 – Пластинчастий рекуператор [3]

Також є роторні рекуператори, їх вигляд представлено на рисунку 1.2, в них відбувається теплообмін за допомогою ротора, який постійно обертається між припливним і витяжним каналами. Ротор це короткий циліндр, заповнений по черзі навитими плоскими та гофрованими стрічками, між якими утворені дрібні повітропроникні канали (вічка). Під час обертання вічка по черзі опиняються то в гарячому, то в холодному потоці. У гарячому потоці вічка відбирають тепло і нагріваються, а у холодному віддають тепло. Теплообмінники, в яких теплообмінна поверхня по черзі контактує з потоками, називається регенеративними теплообмінниками або регенераторами теплоти.

Припливно-витяжні установки з роторним рекуператором можуть використовуватися без попереднього підігрівання повітря. Окрім цього, завдяки високому коефіцієнту використання тепла в припливно-витяжній установці з роторним рекуператором часто можна не використовувати навіть штатний повітронагрівач.

Небезпека появи льоду у вічках роторного теплообмінника виникає лише при температурі зовнішнього повітря нижче мінус 20 градусів по Цельсію. Використання припливно-витяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла на сьогоднішній день є одним з основних методів енергозбереження та ефективність роторних рекуператорів в системі припливно-витяжної вентиляції досягає від 80% до 85% [3].



Рисунок 1.2 – Роторний рекуператор [3]

Отже можна сказати що основна ідея полягає у тому, щоб використовувати тепло, яке вже було витрачено на обігрів або охолодження повітря у приміщенні, і передати його на вихідне повітря, яке знаходиться поза будівлею при цьому заповнити приміщення свіжим повітрям, це призводить до зменшення витрат на опалення і кондиціювання повітря та підвищення комфорту для користувачів приміщення.

Системи очищення повітря від газових забруднень. Для видалення газових забруднень з виробничого повітря, ці системи, використовують фільтри з активним вугіллям, іонізатори або каталітичні очисники. Ці системи складаються з системи вентиляції та різних фільтрів, приладів іонізації і озонових очисників. Такі системи більш використовуються у лабораторіях та у приміщеннях виробництва на якому у процесі виготовлення продукту може утворитися газове забруднення як самого приміщення так і навколишнього середовища.

Системи моніторингу та керування якістю повітря. Ці системи використовують датчики для вимірювання рівня забруднення та інших параметрів повітря і регулюють роботу вентиляційних систем для підтримання заданих параметрів, різні параметри повітря та способи регулювання якості повітря повністю залежать від потреб приміщення у якому знаходиться система.

Системи фільтрації повітря. Це виключно пасивні системи, вони включають у себе різні типи фільтрів, такі як HEPA (високоєфективні частинкові аерозольні фільтри), що забезпечують очищення повітря від шкідливих часток та забруднень.

Проаналізувавши ці системи можна сказати що для будь-якої подібної системи потрібні різноманітні датчики для вимірювання тих параметрів які потрібно контролювати у повітрі, як стандарт це будуть вологість, температура та вміст вуглекислого газу, а для регулювання цих параметрів потрібно застосувати вентиляційні системи з пасивними або активними методами фільтрації, зволоження та оновлення повітря.

1.4 Аналіз датчиків та сенсорів для моніторингу якості повітря

Основними елементами в системах автоматизації є сенсори та датчики, в цьому підрозділі буде представлено по одному датчику для різних параметрів вимірювання якості повітря. Буде розглянуто короткий опис датчику або сенсору, його можливі особливості та технічні характеристики.

Датчик газового забруднення повітря є одним із найголовнішим датчиків у системах контролю якості повітря. Цей датчик виявляє наскільки повітря забруднене різними сполуками.

ScioSense ENS160 це цифровий метало оксидний датчик газів, цей датчик засновано на технології MOX (металооксидний напівпровідник) із чотирма сенсорними елементами MOX, кожен з яких має незалежне керування нагрівальною пластиною для виявлення широкого спектру газів. Серія ENS160 оснащена функцією визначення якості повітря TVOC (загальна кількість летких органічних сполук) та підтримує інтелектуальні алгоритми, які розраховують еквіваленти вуглекислого газу, леткі органічні сполуки та індекси якості повітря (AQI), а також виконують компенсацію вологості та температури. Датчики ScioSense ENS160 ідеально підходять для побутової техніки, пристроїв Інтернету речей, автоматизації будівель та систем опалення, вентиляції та кондиціонування [4].

Також цей датчик має такі особливості:

- є незалежне управління нагрівачем датчика для забезпечення високої селективності та відмінного розпізнавання фону;
- несприйнятливість до силосанів та вологості;
- обробка даних на кристалі немає потреби у зовнішніх бібліотеках;
- немає впливу на продуктивність процесора материнської плати;
- переривання через поріг для додатків з низьким енергоспоживанням;
- маленький корпус для таких можливостей;
- необмежений термін служби чутливого елемента рівню вологи.

Датчик можна побачити на рисунку 1.3, а технічні характеристики у таблиці 1.1.

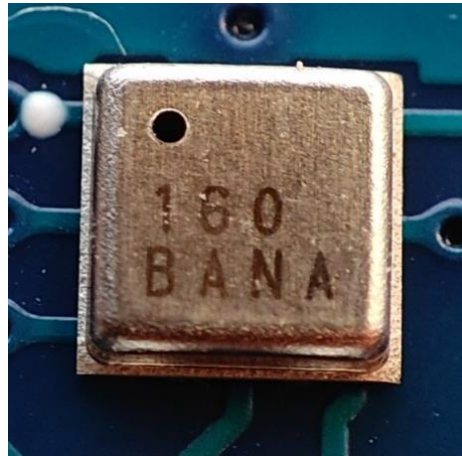


Рисунок 1.3 – ENS160 Digital Metal Oxide Multi-Gas Sensors

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики ENS160

Параметр	Значення
Розмір	Корпус LGA 3,0 мм x 3,0 мм x 0,9 мм
Напруга живлення	від 1,67 В до 1,98 В
Рівень чутливості до вологи	1
Діапазон робочих температур	від -40 °C до +85 °C
Діапазон робочого рівню вологості	від 5% до 95%
Інтерфейси	I2C і SPI з окремим VDDIO до 3,6 В
Вихідні сигнали	eCO ₂ , TVOC та AQI

Далі буде розглянуто датчик вологості та температури повітря, а саме АНТ21. Це вбудований датчик температури та вологості, він може широко використовуватися в побутовій електроніці, медичній, автомобільній, промисловій, метеорологічній та в приміщеннях на виробництві.

Як нове покоління датчиків температури і вологості, АНТ21 встановлює новий стандарт з точки зору розміру і продуктивності, він має дворядний плоский корпус SMD, придатний для пайки оплавленням, розмір 3 мм x 3 мм

з висотою 0,8 мм. Датчик виводить калібровані цифрові сигнали в стандартному форматі ІС. АНТ21 оснащений новою спеціалізованою мікросхемою ASIC, вдосконаленим напівпровідниковим ємнісним датчиком вологості MEMS і стандартним вбудованим датчиком температури. Завдяки вдосконаленню та мініатюризації датчика, він є більш економічно ефективним, і в кінцевому підсумку всі пристрої отримають вигоду від передових енергозберігаючих режимів роботи [5]. Датчик представлено на рисунку 1.4, а технічні характеристики у таблиці 1.2.

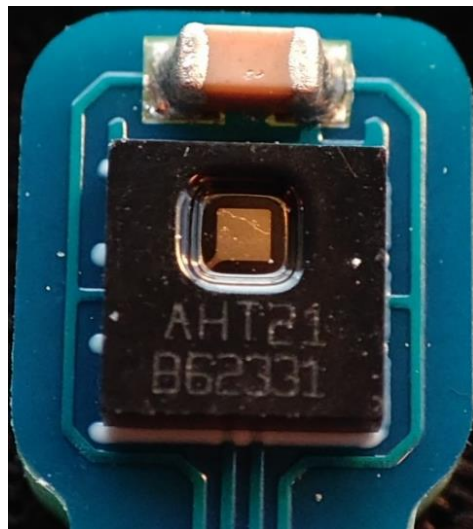


Рисунок 1.4 – АНТ21 Integrated temperature and humidity sensor

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики ENS160

Параметр	Значення
Напруга живлення	від 2,2 В до 5,5 В
Діапазон вимірювання вологості	від 0% до 100%
Діапазон вимірювання температури	від -40 °С до +120 °С
Точність вимірювання вологості	до 2% RH при 25 °С
Похибка вимірювання температури	0,3 °С
Вихідний сигнал	I2C

Також в таких системах потрібен датчик пожежі, диму та чадного газу, так як у разі пожежі система може спричинити ще дужчу пожежу, а ніж могло бути. Такі датчики застосовуються щоб повідомити про пожежу у приміщенні, в залежності від цілей приміщення потрібно встановлювати роздільні датчики диму й чадного газу.

Зараз буде розглянуто Ajax FireProtect Plus, бездротовий датчик детектування диму та чадного газу.

Бездротовий пожежний сповіщувач з датчиками температури та оксиду вуглецю, який цілодобово стежить за безпекою в приміщенні та миттєво сповіщає про небезпечний рівень чадного газу, задимлення та різкі скачки температури.

Призначений для виявлення пожежі в приміщенні. Датчик виявляє дим або чадний газ за допомогою інфрачервоного випромінювача і фотоприймача. Елементи змонтовані в спеціальній димовій камері. При попаданні частинок диму в камеру, фотоприймач виявляє спотворення інфрачервоного променя. Якщо диму стає багато, спотворення променя стає сильним, датчик відправляє бездротовий сигнал про пожежну тривогу на розумну централь та включається сирена [6]. Вигляд датчику представлено на рисунку 1.5, а технічні характеристики у таблиці 1.3.



Рисунок 1.5 – Ajax FireProtect Plus [6]

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики ENS160 [6]

Параметр	Значення
Чутливий елемент	фотоелектричний сенсор
Датчик температури	від +54 °С до +65 °С
Гучність сирени	85 дБ
Двосторонній зв'язок з централлю	є
Потужність радіосигналу	20 мВт
Протокол зв'язку	Jeweller (від 868,0 МГц до 868,6 МГц)
Захист тампером	є
Тип встановлення	кріплення на стіни
Тип елемента живлення	CR2
Живлення	3 В
Термін роботи від елемента живлення	до 3 років
Діапазон робочих температур	від 0 °С до +65 °С
Допустима вологість	до 80%
Вага	216 г
Розміри	132 мм x 132 мм x 31 мм

Слід розглянути систему яка призначена для оцінювання якості повітря, щоб розуміти які датчики є у готових системах моніторингу.

AQMesh це система моніторингу якості повітря з невеликими електрохімічними датчиками для вимірювання якості повітря в приміщеннях та на відкритому повітрі, що пропонує локалізовану інформацію про якість повітря та аналіз даних у режимі реального часу [7]. Зображено на рисунку 1.6 та представлено технічні характеристики у таблиці 1.4.

Має багато різних датчиків які вимірюють:

- гази NO, NO₂, NO_x, O₃, CO, SO₂ та H₂S за допомогою електрохімічних датчиків;
- частинки PM1, PM2.5, PM10 та TPC (Total Particle Counter) за допомогою світлорозсіювального оптичного лічильника частинок;
- відносну вологість, температуру стручка, атмосферний тиск та шум.



Рисунок 1.6 – AQMesh система моніторингу якості повітря [7]

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики AQMesh [7]

Параметр	Тип сенсора	Одиниці виміру	Діапазон
NO	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 4000
NO ₂	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 4000
NO _x	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 8000
O ₃	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 1800
CO	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 6000
SO ₂	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 10000
H ₂ S	Електрохімічний	млрд ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 100000
CO ₂	NDIR метод	млн ⁻¹ або мг/м ³	від 0 до 5000
Температура	Напівпровідниковий	°C	від -20 до 100
Тиск	Напівпровідниковий	мБар	від 500 до 1500
Вологість	Напівпровідниковий	%	від 0 до 100
Шум	Односпрямований мікрофон	дБ	від 35 до 100
Пил	Оптичний лічильник частинок	частинок/см ³	від 0 до 30
PM1	Оптичний лічильник частинок	г/м ³	від 0 до 200
PM2.5	Оптичний лічильник частинок	г/м ³	від 0 до 500
PM10	Оптичний лічильник частинок	г/м ³	від 0 до 1000

1.5 Аналіз вимог до системи управління

Провівши декілька аналізів можна поставити такі вимоги до системи автоматизації для управління якістю повітря у виробничому приміщенні:

- система повинна постійно слідкувати за параметрами якості повітря, використовуючи датчики;
- вимірювання температури та вологості повітря;
- управління системами вентиляції та очищення повітря для автоматичного регулювання якості повітря;
- підключення до датчиків диму, вогню, пожежі тощо;
- підключення до системи тривоги;
- мати пасивну можливість фільтрації, збереження температури та вологості повітря.

Очікувані результати у разі виконання цих вимог:

- зниження ризику захворювань серед працівників внаслідок погіршення якості повітря;
- забезпечення відповідності нормативним вимогам щодо якості повітря в приміщенні;
- зменшення енергоспоживання завдяки оптимізації систем вентиляції та очищення повітря;
- підвищення рівню якості продукції на підприємстві;
- зменшення рівню бракованої продукції.

2 МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

2.1 Методи контролю якості повітря за допомоги фільтрів

Фільтри повітря є ключовими компонентами систем вентиляції, кондиціонування та очищення повітря, які дозволяють видаляти шкідливі частинки та забруднювачі, забезпечуючи таким чином чистоту та безпеку повітряного середовища. Аналіз методів контролю та регулювання якості повітря за допомогою фільтрів включає оцінку ефективності різних типів фільтрів. Такий аналіз дозволяє обрати оптимальні рішення для забезпечення чистого та безпечного повітря, підвищуючи комфорт, продуктивність і здоров'я людей, а також знижуючи ризики для обладнання та технологічних процесів.

Зазвичай ці фільтри бувають чотирьох видів із різним наповненням, конструкцією та складом, представлено деякі з них на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Види фільтрів

Панельний вентиляційний фільтр це плоский і досить тонкий фільтр у вигляді рамки, на яку натягнута сітка з тканиною. Він призначений для грубого очищення повітря. Фільтр є простим у використанні та монтажі, легко встановлюється і займає мінімум місця. Зазвичай його розміщують на вході в

систему вентиляції або перед вентилятором, що нагнітає повітря в канали. Залежно від ступеня та характеру забруднення, панельний фільтр можна очищати і використовувати повторно.

Касетний фільтр зовні нагадує панельний, але відрізняється наповненням. У рамку встановлюється прокладка з нетканих матеріалів. Ці фільтри не підлягають повній очистці, коли матеріал заповнюється пилом, його потрібно вийняти з рамки і вставити нову касету. На рисунку 2.2 можна побачити вугільний касетний фільтр.



Рисунок 2.2 – вугільний касетний фільтр класу G4, Coarse

Кишеньковий фільтр відрізняється високою ефективністю, здатний виконувати як грубе, так і тонке очищення повітря. Конструктивно складається з рамки, до якої прикріплені рукави з закритою однією стороною. Завдяки своїй формі, кишеньковий фільтр забезпечує хороше очищення при мінімальному опорі повітряному потоку. Кишеньковий фільтр зображено на рисунку 2.1.

Циліндричні фільтри є одним з типів повітряних фільтрів, які сильно відрізняються своєю формою та конструкцією. Вони мають циліндричну форму, що дозволяє досягти великої площі фільтрації при компактних розмірах. Мають низький опір повітряному потоку, конструкція дозволяє зменшити опір повітря при проходженні через фільтр, що підвищує

ефективність роботи вентиляційних систем. Його також можна побачити на рисунку 2.1.

Фільтри мають свій стандарт, раніше використовувався стандарт EN 779, але він був дійсний до середини 2018 року, зараз же використовується ISO 16890, но досі багато фільтрів класифікують по EN 779. Основні їх відмінності це те, що EN 779 базується на середній ефективності видалення частинок певного розміру, тоді як ISO 16890 класифікує фільтри на основі їх ефективності для частинок різного діаметру, ЕРА фільтри та НЕРА фільтри мають свої стандарти EN 1822 та ISO 29463 для вискоефективних фільтрів. Нижче, у таблиці 2.1, наведено таблицю порівняння класифікацій, щоб краще розуміти новий стандарт.

Таблиця 2.1 – Порівняння класифікації фільтрів за стандартами

Категорія	Класифікація по стандартах			
	EN 779	ISO 16890	EN 1822	ISO 29463
Грубі фільтри	G1	Coarse	–	–
	G2		–	–
	G3		–	–
	G4		–	–
Середньоефективні	F5	ePM10	–	–
	F6	ePM2.5	–	–
	F7	ePM1	–	–
	F8		–	–
	F9		–	–
ЕРА фільтри	–	–	E10	E10
	–	–	E11	E11
	–	–	E12	E12
НЕРА фільтри	–	–	H13	H13
	–	–	H14	H14

Таблиця 2.2 – Приведення старих класів до нових

Клас фільтра	ePM1	ePM2,5	ePM10	Coarse
G1	–	–	–	–
G2	–	–	–	від 30% до 50%
G3	–	–	–	від 45% до 65%
G4	–	–	–	від 60% до 85%

Продовження таблиці 2.2

Клас фільтра	ePM1	ePM2,5	ePM10	Coarse
M5	від 5% до 35%	від 10% до 45%	від 40% до 70%	від 80% до 95%
M6	від 10% до 40%	від 20% до 50%	від 60% до 80%	більше 90%
F7	від 40% до 65%	від 65% до 75%	від 80% до 90%	більше 95%
F8	від 65% до 90%	від 75% до 95%	від 90% до 100%	більше 95%
F9	від 80% до 90%	від 85% до 95%	від 90% до 100%	більше 95%

Coarse – за стандартом ISO 16890, фільтри, які видаляють менше 50% частинок діаметром 10 мікрон і більше.

Середньоєфективні фільтри ePM10, ePM2.5, ePM1 – за стандартом ISO 16890, ці фільтри класифікуються на основі їх ефективності уловлювання частинок відповідного розміру до назв класифікацій, а саме десять мікрон, два з половиною мікрон та один мікрон.

Грубі фільтри (G1-G4) використовуються для видалення великих частинок пилу, волокон і іншого великого сміття. Їх застосовують на перших етапах очищення повітря, щоб захистити обладнання і підвищити ефективність подальших фільтрів.

Середньоєфективні фільтри (F5-F9) використовуються для більш тонкого очищення повітря, включаючи пилок, спори цвілі, бактерії та деякі віруси. Їх застосовують після грубих фільтрів або як єдине рішення у системах з меншими вимогами до якості повітря.

ЕРА (Efficient Particulate Air) фільтри класу E10, E11, E12. Використовуються для дуже тонкого очищення повітря і мають високий ступінь ефективності у видаленні дрібних частинок, включаючи бактерії та віруси.

HEPA фільтри (H13, H14) використовуються в медичних закладах, лабораторіях, чистих кімнатах та інших місцях, де необхідний високий ступінь чистоти повітря.

2.2 Методи контролю летких органічних сполук у повітрі

Леткі органічні сполуки (ЛОС) це широкий клас органічних сполук які характеризуються високою летючістю, тобто вони можуть виділяють пари при тиску та температурі навколишнього середовища, і тому легко поширюються в повітрі в газоподібній формі, до них входять вуглеводні, альдегіди, спирти, кетони, терпеноїди та інші.

Виявлення ЛОС є складним, оскільки вони можуть дуже легко випаровуватися при кімнатній температурі. Також вони складають велику групу газів і газоподібних речовин, багато з яких вважаються забруднювачами, токсичними або канцерогенними. Їх летюча природа дозволяє їм швидко поширюватися в атмосфері, тому їх необхідно виявляти та вимірювати.

Вимірювати ці сполуки можна за допомогою сенсорів які працюють на основі зміни електричного опору напівпровідникового матеріалу під дією ЛОС, на рисунку 2.3 можна побачити такий датчик. Вони можуть бути налаштовані для виявлення специфічних сполук або груп сполук.

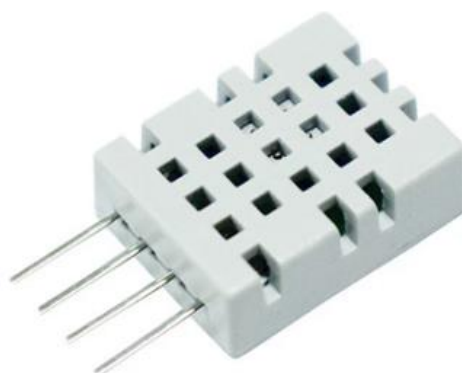


Рисунок 2.3 – AGS02MA датчик ЛОС

Найкращим методом боротьби з таким параметром якості повітря при звичайних умовах, не токсичними сполуками, є пасивні методи, наприклад адсорбція та абсорбція.

Адсорбція затримує сполуки на поверхні твердих адсорбентів, таких як активоване вугілля або зеоліти. Цей метод ефективний для широкого спектра летких органічних сполук і часто використовується в промислових фільтрах і системах очищення.

У адсорбційних фільтрах використовують активоване вугілля, яке має високу адсорбційну здатність, або зеоліти, які добре підходять для видалення специфічних летких органічних сполук завдяки своїй пористій структурі.

Абсорбція розчиняє ці сполуки у поглиначах, але це вид сорбенту, тіло якого при контакті з поглиненою речовиною реалізує всмоктування всією масою та об'ємом, утворюючи цілісну тверду масу або розчин, тобто він швидко забруднюється та в основному не використовується для очищення повітря. На відміну від абсорбції, адсорбція не змінює ні хімічний склад ні фізичний стан. Для фільтрування повітря кращим методом буде пасивна адсорбція за допомогою різних фільтрів на основі з активованого вугілля та зеолітів, наприклад фільтр представлений на рисунку 2.2.

2.3 Методи контролю вологості у повітрі

Контроль вологості у повітрі є важливим аспектом у багатьох галузях, наприклад у промисловості та виробництві електроніки, так як він напряду впливає на кількість утворення статичної електрики. Для цього використовуються різні методи і технології. Основні способи контролю вологості:

– ємнісні сенсори. Вони складаються з двох електродів, між якими розташована діелектрична речовина, чутлива до вологості. Зміна вологості викликає зміну діелектричної проникності речовини, що призводить до зміни ємності сенсора. Ці зміни перетворюються в електричний сигнал, який

відображає рівень вологості;

- резистивні сенсори. Працюють на основі зміни електричного опору матеріалу залежно від вологості. Сенсор покритий гігроскопічним матеріалом, який абсорбує вологу з повітря, змінюючи свій опір. Зміна опору перетворюється в електричний сигнал, що показує рівень вологості;

- літієві хлоридні сенсори. Працюють на принципі електролітичної провідності. Вони складаються з комірки, заповненої розчином літієвого хлориду, який змінює свою провідність залежно від вологості повітря. Ці сенсори часто використовуються в точних наукових дослідженнях і промислових застосуваннях;

- інфрачервона спектроскопія. Цей метод використовує інфрачервоне випромінювання для вимірювання поглинання водяної пари в повітрі. Інфрачервоні сенсори можуть визначати концентрацію водяної пари, що дозволяє точно визначити рівень вологості;

- теплові сенсори або термокондуктометрія. Ці сенсори вимірюють теплопровідність повітря, яка змінюється залежно від вмісту водяної пари. Зміна теплопровідності перетворюється в електричний сигнал, що показує рівень вологості. Наприклад датчик АНТ21 (рис. 1.4) скоріш за все є такого типу.

З методів зволоження повітря можна виділити парові, ультразвукові та центрифужні зволожувачі.

Парові зволожувачі генерують пару шляхом нагрівання води. Пара потім випускається у повітря, підвищуючи його вологість. Вони можуть бути як електричними, так і використовувати інші джерела тепла.

Ультразвукові зволожувачі використовують високочастотні звукові хвилі для перетворення води на дрібні крапельки, які випаровуються у повітрі.

Нижче на рисунку 2.4 представлено ультразвуковий зволожувач, парові зволожувачі виглядають також.



Рисунок 2.4 – Ультразвуковий зволожувач фірми Maxton [8]

Центрифужні зволожувачі використовують обертання диска для розбризкування води на дрібні крапельки, які потім випаровуються у повітря. Цей метод часто застосовується в промислових умовах.

До методів осушення повітря відносяться різні пристрої для осушення повітря та звичайна вентиляція як пасивний метод.

Осушувачі повітря використовують різні методи для зниження вологості повітря, наприклад використовують адсорбційні матеріали для поглинання вологи з повітря, або працюють на принципі охолодження повітря до точки роси.

Вентиляція є простим і ефективним методом регулювання вологості. Свіже повітря, яке має різний рівень вологості, може знижувати вологість у приміщенні шляхом змішування з внутрішнім повітрям. Використання вентиляторів та вентиляційних систем сприяє активному переміщенню повітря, а також якщо в цю систему додати фільтри з рисунку 2.1 на основі активованого вугілля то він буде поглинати вологу.

Контроль вологості в повітрі може бути досягнутий за допомогою різних методів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Вибір методу залежить від конкретних вимог застосування, таких як точність, швидкість відгуку, умови

експлуатації та вартість. У багатьох випадках комбінування кількох методів дозволяє досягти найкращих результатів у контролі вологості.

2.4 Методи контролю температури у повітрі

Контроль температури у повітрі є важливим аспектом для забезпечення комфорту, безпеки, ефективності виробничих процесів та збереження продукції. Для цього використовуються різні методи і пристрої, що дозволяють точно вимірювати та регулювати температуру. Далі приведено деякі способи контролю температури у повітрі та методи регулювання.

Спосіб контролю за допомогою термопари. Термопари складаються з двох різних металів, з'єднаних в одній точці. Коли з'єднання нагрівається або охолоджується, виникає електрична напруга, яка пропорційна температурі (рис. 2.5). Термопари є дуже точними і використовуються в широкому діапазоні температур. Виглядає як термістор або терморезистор, зазвичай має два контакти.

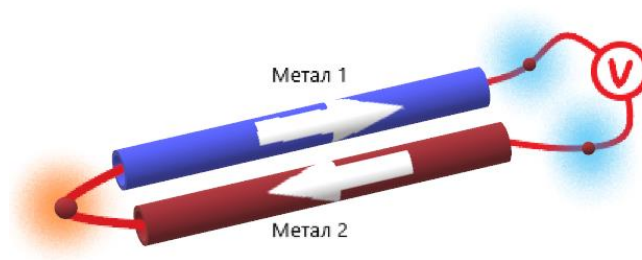


Рисунок 2.5 – Термопара

Терморезистори. Вони змінюють свій опір залежно від температури. Найпоширенішим типом є платиновий терморезистор (Pt100), який має високу точність і стабільність, зображений на рисунку 2.6. Терморезистори використовуються для точних вимірювань у промислових та наукових застосуваннях.



Рисунок 2.6 – Терморезистор Pt100 [9]

Термістори. Мають опір, який різко змінюється з температурою. Вони менш точні, ніж терморезистори, але дуже чутливі і швидко реагують на зміни температури. Використовуються у побутових пристроях і деяких промислових застосуваннях. Побачити термістор можна на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Термістор з різьбленням М8 [10]

Для регулювання температури можна використовувати дуже багато методів починаючи зі звичайного вентиляційного метода обміну внутрішнього повітря на свіже зовнішнє повітря, що сприяє охолодженню або нагріванню приміщень закінчуючи системами опалювання які регулюються термостатами.

До методів нагрівання повітря можна віднести системи центрального опалення які використовуюють радіатори або конвектори.

Якщо розглянути методи не центрального опалення то можна виділити тільки конвектори з електронагрівним елементом.

Що до методів охолодження, то можна розглянути спліт-системи, які складаються з зовнішнього компресора і одного або декількох внутрішніх блоків, які забезпечують охолодження кількох приміщень. Вони є ефективними і тихими в роботі. Також є центральні кондиціонери, які використовуються для охолодження великих будівель. Вони забезпечують охолодження повітря через систему повітропроводів. Ще є метод охолодження через вентиляцію використовуючи повітря з зовні для охолодження.

Насправді спліт-системи є дуже простим методом контролю температури у виробничому приміщенні, так як вони можуть як охолоджувати так і нагрівати повітря, якщо мають нагрівний елемент у конструкції, їх робочий діапазон від $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ на обігрів і $+43\text{ }^{\circ}\text{C}$ на охолодження. Спліт-систему зображено на рисунку 2.8.

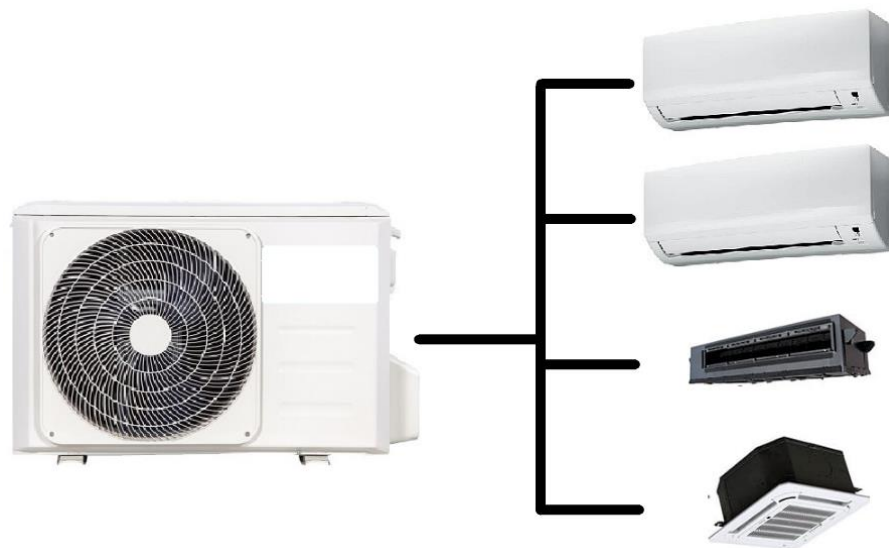


Рисунок 2.8 – Спліт-система

Ці системи є дуже ефективними, їх легко поєднувати у одну систему та контролювати, деякі моделі мають не тільки датчики температури та вологості, а ще й датчики якості повітря які вимірюють TVOC. Можуть бути

укомплектовані зволожувачем повітря що дає змогу контролювати й вологість, а так як в них є фільтри, повітря буде очищене від різних забруднень. Від вставлених фільтрів залежить наскільки буде забруднене повітря пилом та іншими забруднювачами.

Тож можна зробити такий висновок, що для виробничого приміщення кращим методом контролю якості повітря є система контролю якості повітря яка буде мати спліт-систему для підтримки температури у приміщенні, також слід мати у спліт-системі засоби зволоження повітря, якщо такої змоги не має, то підійде ультразвукові зволожувачі повітря, по типу який показано на рисунку 3.4. Також повинна бути система вентиляції з фільтрами з підрозділу 3.1, так як це надає змогу отримувати свіже та якісне повітря або швидко провітрити приміщення при різкому забрудненні повітря та нормалізувати його якість у приміщенні. Також система вентиляція є важливим елементом в економії, так як, в деякі пори року, може її вистачати для підтримки стандартів якості повітря у виробничому приміщенні.

Таку систему дуже просто з'єднати між собою за допомогою програми яка розроблюється в цій кваліфікаційній роботі. Ця система буде мати просте та ефективне управління, вона сама реагуватиме на зміну параметрів з датчиків, та буде приводити їх до значень які будуть відповідати стандартам якості. Датчики можуть бути встановлені у спліт-системах за конструкцією, або датчики можна встановити десь у виробничому приміщенні та підключити їх до системи.

2.5 Параметри якості повітря

Європейський стандарт EN 13779:2007 спрямований на забезпечення високої якості повітря у приміщеннях протягом усього року, враховуючи витрати на встановлення та експлуатацію систем. Цей стандарт став національним у кількох країнах. EN 13779:2007 визначає ефективність фільтрів, необхідну для підтримки високої якості повітря в приміщеннях.

Зовнішнє повітря класифікується за трьома категоріями:

- ODA 1. Чисте повітря з тимчасовими забрудненнями, наприклад, пилом;
- ODA 2. Повітря з середнім рівнем забруднення;
- ODA 3. Повітря з високою концентрацією газоподібних забруднювачів і твердих часток.

Тверді частки охоплюють усі тверді та рідкі частинки в повітрі, і більшість показників якості повітря відносяться до часток PM10. Для захисту здоров'я також важливо враховувати дрібніші частки. Газоподібні забруднювачі включають CO₂, CO, NO₂, SO₂ та леткі органічні сполуки.

Цей стандарт класифікує якість повітря в приміщеннях від IDA 4 (низька якість повітря) до IDA 1 (висока якість повітря). Один із найпоширеніших методів оцінки AQI (Air Quality Index) це вимірювання рівня CO₂, який є показником ефективності вентиляції, але не абсолютної якості повітря.

EN 13779 визначає класи фільтрів, необхідні для досягнення бажаного рівня AQI. Класи фільтрів відповідають EN 779:2002. Для досягнення високої якості повітря (IDA 1 або IDA 2) у міських умовах потрібні фільтри F9 для кінцевої фільтрації і газові фільтри для захисту від газоподібних забруднювачів.

Для умов ODA 3 рекомендується використовувати молекулярні (газові) фільтри разом із сажовими фільтрами F8 або F9. Для гігієнічних умов рекомендується двоступенева фільтрація твердих часток:

- перший ступінь, мінімум F5, рекомендовано F7;
- другий ступінь, мінімум F7, рекомендовано F9;
- для одноступеневої фільтрації необхідний F7.

Для циркуляції повітря слід використовувати фільтри класу не нижче F5, а для захисту витяжних систем, потрібно використовувати фільтри не нижче F5. Ефективність видалення забруднювачів не повинна знижуватися нижче необхідних значень.

Інтервал заміни фільтрів не повинен визначатися лише на основі

економічної вигоди, слід враховувати гігієнічні міркування. Заміна фільтрів повинна здійснюватися при досягненні одного з таких обмежень: кінцевий перепад тиску, час установки або час роботи фільтра:

- фільтри першого ступеня фільтрації, 2000 робочих годин або максимум 1 рік після встановлення;
- фільтри другого та третього ступенів фільтрації, 4000 робочих годин або максимум 2 роки після встановлення;
- витяжні та рециркуляційні фільтри, 4000 робочих годин або максимум 2 роки після встановлення [11].

Згідно до стандарту EN 13779, було сформовано таблиці 2.3-2.5 для кращого розуміння того як саме параметри eCO_2/CO_2 , TVOC, AQI впливають на стан здоров'я, також ці таблиці надають розуміння як міняється AQI від eCO_2/CO_2 та TVOC. Були описані рекомендовані дії при різних значеннях мільярдної частки та мільйонної частки.

Таблиця 2.3 – Розрахункова концентрація eCO_2/CO_2

eCO_2/CO_2 (млн ⁻¹)	Рівень	Пропозиція
від 21500	Сильний	Забруднення повітря в приміщенні є сильним, тому потрібна вентиляція.
від 1000 до 1500	Погано	Повітря в приміщенні брудне, рекомендується вентиляція
від 800 до 1000	Звичайна якість, середнє	Можна вентилювати
від 600 до 800	Добре	Немає пропозицій
від 400 до 600	Відмінно	Немає пропозицій

Таблиця 2.4 – Стандарти концентрації TVOC

TOVC (млрд ⁻¹)	Вплив на здоров'я людини
від 6000	Головні болі та проблеми з нервами
від 750 до 6000	Відчуття занепокоєння та головна біль
від 50 до 750	Відчуття занепокоєння та дискомфорту
до 50	Не впливає

Таблиця 2.5 – Довідник AQI

Рівень	Опис	Пропозиція	Рекомендований час перебування
5	Дуже поганий	У разі необхідності поставити вентиляцію на максимум	Перебування не рекомендується
4	Поганий	Посилити вентиляцію, визначити джерело забруднення	Менше ніж 1 місяць
3	Задовільний	Посилити вентиляцію	Менше ніж 12 місяців
2	Добрий	Підтримувати належну вентиляцію	Підходить для тривалого перебування
1	Чудовий	Без пропозицій	Підходить для тривалого перебування

3 РОЗРОБКА МАКЕТУ СИСТЕМИ

3.1 Компоненти макету та їх опис

Як контролер макету буде обрано ESP32-WROOM-32D (рис. 3.1), це високопродуктивний мікроконтролер з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth, розроблений компанією Espressif Systems. Має 32 піни для підключення, подрібніше про піни можна дізнатися на рисунку 3.2. Живиться від 5 вольт, підключатися буде до комп'ютера по USB-A, живлення буде 5 вольт 1 ампер. Він буде контролювати різні прилади й системи що до нього підключені, також він буде спілкуватися через Wi-Fi із програмою, приймати команди та віддавати дані з датчиків. Саме цей мікроконтролер було обрано за його ціну, доступність та наявність великої кількості пінів.

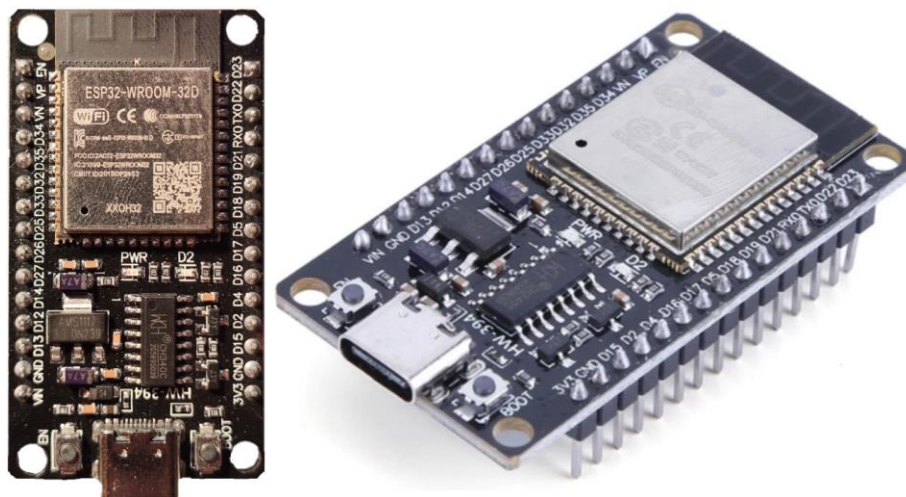


Рисунок 3.1 – ESP32-WROOM-32D [12]

ESP32 має 32 піни із різними властивостями та режимами роботи, наприклад усі «GPIO» мають ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), окрім 35-39, хоч у довідці це не показано, але щоб краще їх розібрати потрібно роздивитися довідку про контактування яка наведена на рисунку 3.2.

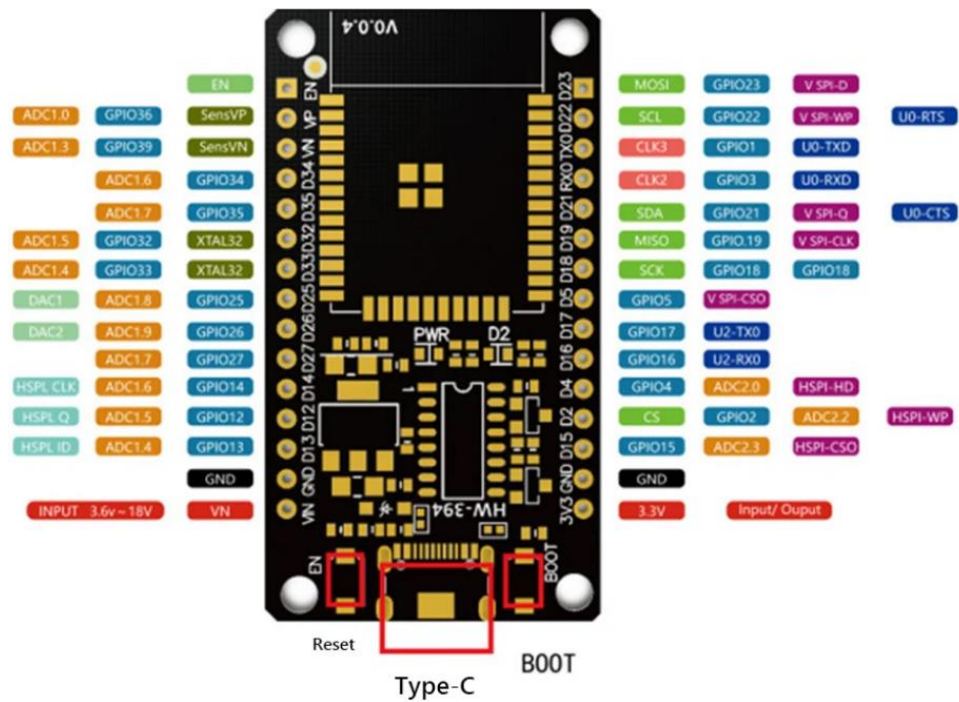


Рисунок 3.2 – Довідка про контактування ESP32-WROOM-32D [12]

Технічні характеристики мікроконтролера ESP32 наведено у таблиці 3.1, його можна питати від «TYPE-C 5V», а також по піну «GND», який є мінусом, та піну «VIN», який приймає напругу від 3,6 вольт до 18 вольт.

Таблиця 3.1 – Специфікація ESP32-WROOM-32D

Параметр	Значення
Робоча напруга	TYPE-C 5 В або VIN від 3,6 В до 18 В
Процесор	Двоядерний Xtensa LX6, до 240 МГц
Пам'ять	520 кБ SRAM, вбудована флеш-пам'ять від 4 МБ до 16 МБ
SPI FLASH	За замовчуванням 32 МБІТ
Швидкість послідовного порту	115200 BPS
Діапазон частот	від 2412 МГц до 2484 МГц
Протокол Bluetooth	Bluetooth 4.2 BR/EDR та BLE
Протокол WIFI	802.11B/G/N
Форма антени	Вбудована PCB антена, посилення 2DB
Підтримувані інтерфейси	UART, SPI, SDIO, I2C, PWM, I2S, IR, ADC, DAC
Розмір продукту	54 мм x 28 мм x 10 мм

Основою макету буде плата для макетування, яка має 830 точок для контактів, її показано на рисунку 3.3. Вона має з'єднані точки по каналах А-Е та F-J для кожного номера окремо, ще слід зауважити що плюс та мінус розділені посередині.

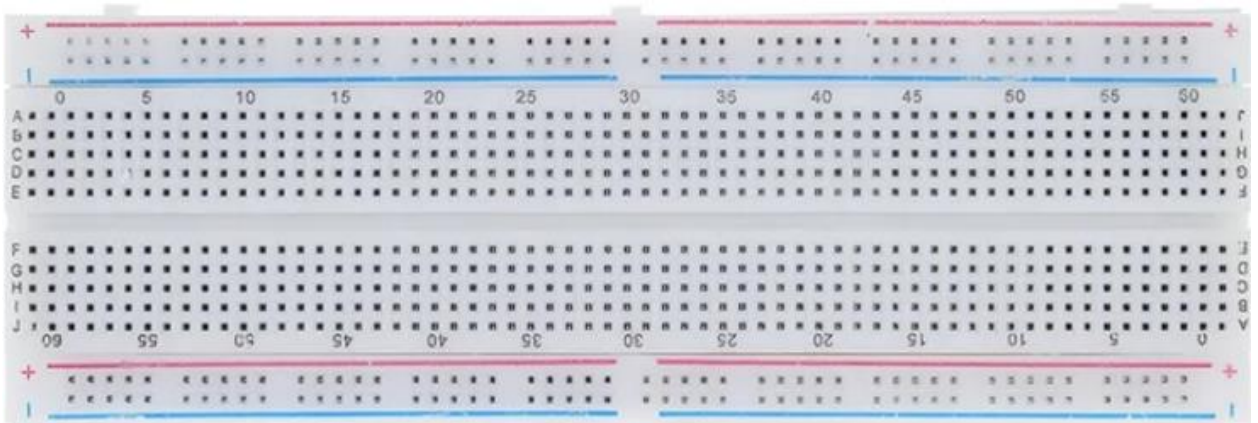


Рисунок 3.3 – Макетна плата на 830 точок типу MB-102 [13]

Також на макетну плату можна встановити модуль живлення, так як у макеті будуть використовуватись мотор-редуктор та сервоприводи, живлення може не вистачати, тому у проекті використано модуль живлення, також від нього по USB-A може питатися мікроконтролер. Побачити модуль живлення можна на рисунку 3.4. Специфікацію модуля живлення наведено у таблиці 3.2.



Рисунок 3.4 – Макетний модуль живлення типу MB-102 [13]

Таблиця 3.2 – Специфікація макетного модуля живлення типу MB-102

Параметр	Значення
Вхідна напруга	Від 6,5 В до 12 В (DC) або 5 В (USB)
Вихідна напруга	3,3 В, 5 В
Вихідний струм	До 700 мА
Захист від перевантаження	Так
Захист від короткого замикання	Так
Сумісність	Макетні плати типу MB-102
Регулювання напруги	Перемикач для вибору між 3,3 В та 5 В
Коннектори	USB-порт, 3,5 мм
Розміри	Приблизно 54 мм x 32 мм x 22 мм

Один з найголовніших елементів цієї системи є датчик ENS160 (рис. 1.3) в поєднанні з датчиком АНТ21 (рис. 1.4), він забезпечує комплексний підхід до моніторингу якості повітря, вологості та температури, за це його і було обрано до системи. Ця комбінація може використовуватися у машинах, будинках і навіть на підприємствах тощо. Про ці два датчики окремо було вже написано у підрозділі 1.4. Вигляд поєднаних датчиків можна побачити на рисунку 3.5.

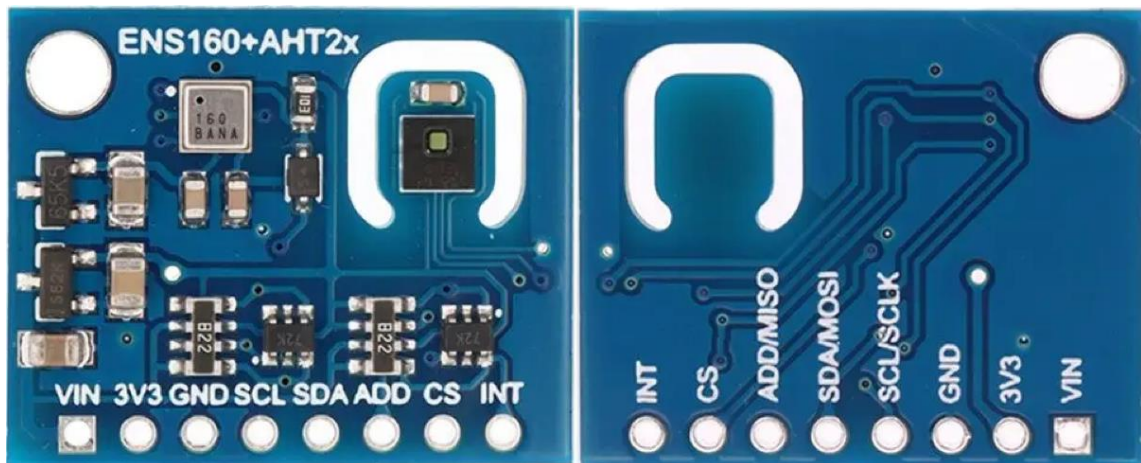


Рисунок 3.5 – Датчик ENS160+АНТ21

Далі не менш важливий елемент системи це датчик вогню, бо якщо при пожежі буде працювати вентиляція, то вона тільки підсилить полум'я. Розглянути датчик можна на рисунку 3.6



Рисунок 3.6 – Датчик вогню

Також слід встановити датчик диму, так як приміщення може бути повністю задимлене перед самою появою полум'я, тому датчик вогню може не спрацювати. Але слід зауважити що у виробничих приміщеннях можуть бути задимленості тому не слід визивати тривогу при спрацюванні цього датчика. Цей датчик можна побачити на рисунку 3.7

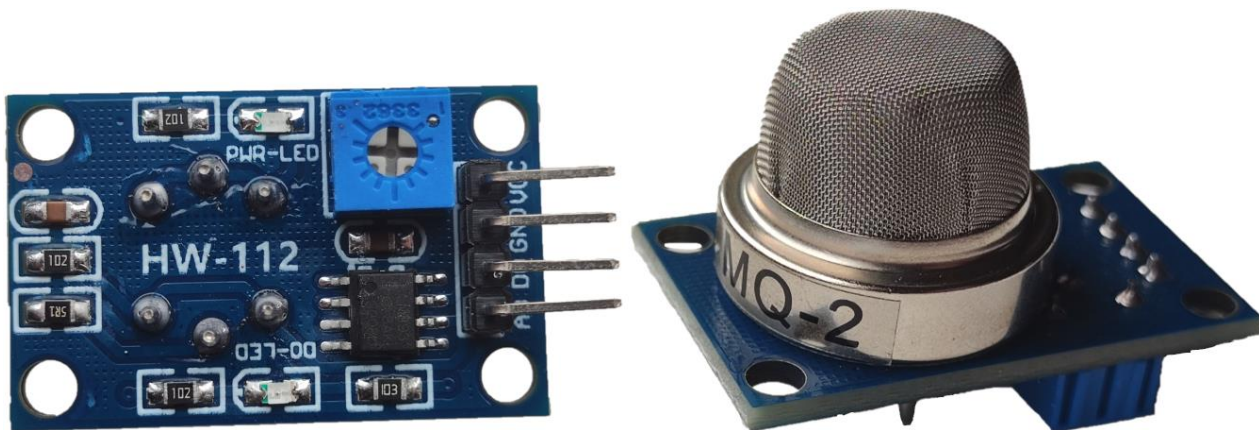


Рисунок 3.7 – Датчик диму MQ-2

Для імітації вентиляторів у вентиляції буде використано ТТ Мотор-редуктор. В якості лопаті використано кріплення для сервоприводів. Побачити мотор можна на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – ТТ Мотор-редуктор

ТТ мотор-редуктор це невеличкий компактний двигун постійного струму, оснащеним редуктором для зменшення швидкості обертання та збільшення крутного моменту. Також він оснащений електромагнітною сумісністю, тому має сильний захист від перешкод і не втручається в роботу мікроконтролера. Був обраний для макету за його доступність, надійність і простоту використання. Технічні характеристики наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики ТТ мотора-редуктора

Характеристика	Значення
Напруга живлення	Від 3 В до 12 В
Передаточне число	1:48
Споживаний струм	70 мА
Максимальний струм (при 6 В)	670 мА
Вага	30 г
Габарити	70 мм x 37 мм x 22 мм
Швидкість без навантаження	180 об/хв (при 6 В)
Крутний момент	2 кг/см (при 6 В)

Для контролю мотора-редуктора потрібен драйвер двигуна, L293D, підійде для цих цілей, простий у використанні, не дорогий та доступний. Ця мікросхема містить відразу два драйвери для керування електродвигунами невеликої потужності, а саме від 4,5 В до 36 В. Роздивитися його можна на рисунку 3.9.

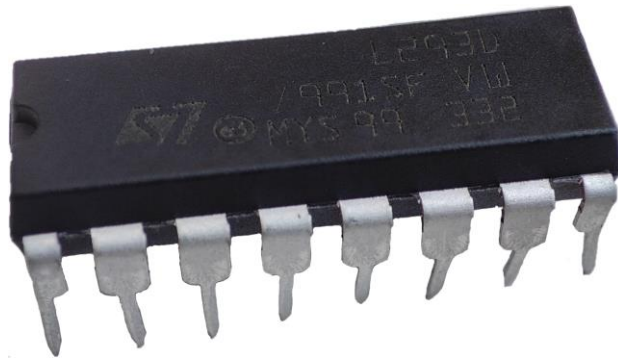


Рисунок 3.9 – Мікросхема драйвер моторів двоканальний L293D

Щоб імітувати вентиляційні заслінки та спліт-систему, яка обігріває та охолоджує приміщення, буде використовуватись сервоприводи. Зліва сервопривід імітує заслінки, а з правого боку спліт-систему. Сервоприводи представлено на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – SG90 360 градусів

Слід зауважити що у моделях 180 градусів є потенціометр який обмежує рух валу до 180 градусів, а в моделях 360 градусів потенціометр не комплектується. Краще використовувати моделі з потенціометром, а у макеті були обрані моделі без потенціометра за наявності. Нижче у таблиці 3.4 буде приведено технічні характеристики для SG90 360 градусів.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики SG90 360 градусів

Характеристика	Значення
Робоча напруга	Від 4,8 В до 6 В
Споживана потужність	1,2 Вт
Максимальний крутний момент	1,8 кг/см (при 4,8 В)
Швидкість	0,12 с/60° (при 4,8 В)
Робоча температура	Від -30 °С до +60 °С
Вага	9 г
Габарити	23 мм x 12,2 мм x 29 мм
Тип двигуна	Мотор-редуктор
Тип підшипника	Радіальний
Контрольний сигнал	Імпульс широтно-імпульсної модуляції
Кут обертання	360°

В системі повинен бути зволожнювач повітря, і так як раніше було запропоновано використовувати окремий від спліт-системи зволожнювач, то буде використано вже готовий зволожнювач повітря, а ESP-32 буде тільки подавати команди на управління. Плату зволожнювача та метод підключення до неї представлено на рисунку 3.11. Як можна побачити управління здійснюється через «Key1».



Рисунок 3.11 – Міні-зволожувач повітря Kinscoter DQ107

Це звичайний зволожнювач повітря китайського виробництва, підійде для приміщень розміром від 20-ти до 30-ти квадратних метрів. Його характеристики наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики Kinscoter DQ107

Характеристика	Значення
Номінальний вхід	DC 5 В 1 А
Робочий струм	Від 250 мА до 350 мА
Номінальна потужність	1 Вт
Ємність резервуара для води	300 мл
Об'єм розпилення	25-35 мл/год
Запланований час відключення	4 години
Розмір	78 мм x 119 мм
Матеріал	ABS, PP, Електронні компоненти

Для зручного та швидкого отримання інформації було встановлено дисплей LCD1602 I2C. Це рідкокристалічний дисплей який має 16 символів на двох рядках, він використовує інтерфейс I2C для спрощення підключення до ESP-32. Завдяки інтегрованому I2C інтерфейсу, модуль потребує лише два піни для зв'язку, це D21 і D22, що значно зменшує кількість необхідних підключень у порівнянні зі стандартним 1602 LCD дисплеєм, тому саме його і було обрано для макету. Вигляд дисплею представлено на рисунку 3.12.

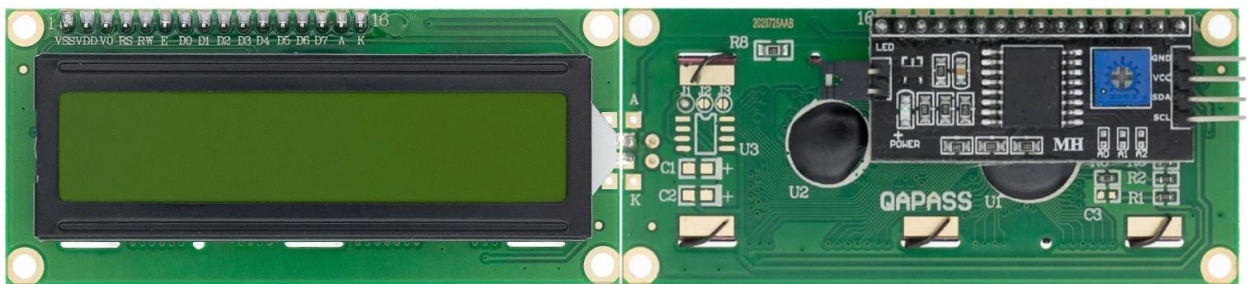


Рисунок 3.12 – LCD1602 I2C модуль дисплея із зеленим екраном [14]

Технічні характеристики модуль дисплея LCD1602 I2C можна побачити у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики модуля дисплея LCD1602 I2C

Характеристика	Значення
Тип дисплея	LCD
Формат	16 x 2
Інтерфейс	I2C
Адреса I2C	0x27 або 0x3F
Напруга живлення	5 В
Споживана потужність	2 мА (без підсвічування)
Підсвічування	Світлодіодне, зелене
Розміри дисплея	80 мм x 36 мм x 11 мм
Розміри видимої області	64,5 мм x 16 мм
Регулювання контрасту	3 допомогою потенціометра
Температурний діапазон	Від -20 °С до +70 °С
Життєвий цикл	До 50 000 годин

3.2 Складання макету системи

Спочатку потрібно зібрати макет у віртуальному виді щоб приблизно розуміти як він виглядає та що може ще знадобитися для збірки макету. Нарисований віртуальний макет можна побачити на рисунку 3.13.

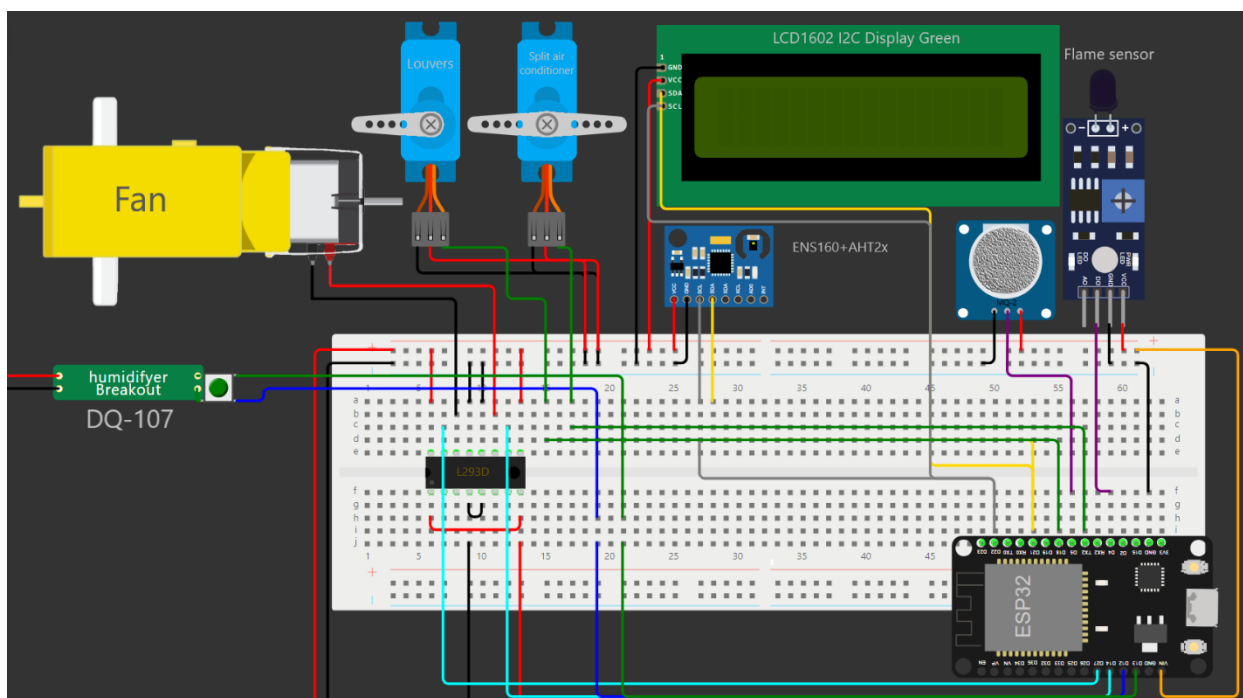


Рисунок 3.13 – Макет системи у віртуальному виді

Якщо роздивитися рисунок то можна зрозуміти скільки проводів знадобиться для збірки реального макету. Також можна помітити, що з низу до плати підходять по два проводи, плюс та мінус, це живлення яке взято від макетного модуля живлення типу MB-102. Макетна плата розділена посередині, тому ESP-32 можна живити окремо від мотору та сервоприводів або можна поставити перемички, там де розділено плюс та мінус, і живити від модуля.

Датчики ENS160 та АНТ21 працюють по шині I2C тому підключаються тільки два піни для комунікації, дисплей також використовує шину I2C та використовує ті ж самі піни. Хоч і компоненти підключаються по I2C до ESP-32 використовуючи тільки два піни, вони не плутаються та не роблять перешкод один одному, так як мікроконтролер звертається до компонентів через їх, майже, унікальний номер у шістнадцятирічній системі обчислення, наприклад дисплей має номер 0x27, а ENS160+АНТ21 мають 0x52 та 0x53 відповідно.

Мотор-редуктор контролюється за допомогою мікросхеми драйверу, підключається до мікроконтролера через 2 піни. З ESP-32 поступає на один з пінів високий сигнал а на другу низький, далі сигнали проходять через драйвер та подаються на ніжки мотору, який крутиться в ту сторону на яку прийшов плюс. Що до сервоприводів то вони підключені до живлення та контролюються через піни із ШІМ.

Датчики вогню та диму завжди подають високий сигнал на свій пін. Якщо датчики помітять полум'я або достатню задимленість приміщення, то вони змінять сигнал з високого на низький.

Зволожнювач повітря є окремим пристроєм з вже готовою логікою роботи та пуском через кнопку. Для користування його потрібно запитати від micro USB та підключитись до керуючого органу, тобто кнопки. Щоб імітувати натиснення кнопки потрібно з одного контакту кнопки приймати сигнал а у інший подавати, так буде імітуватись натиснення кнопки.

На рисунку 3.14 представлено реальний макет системи.

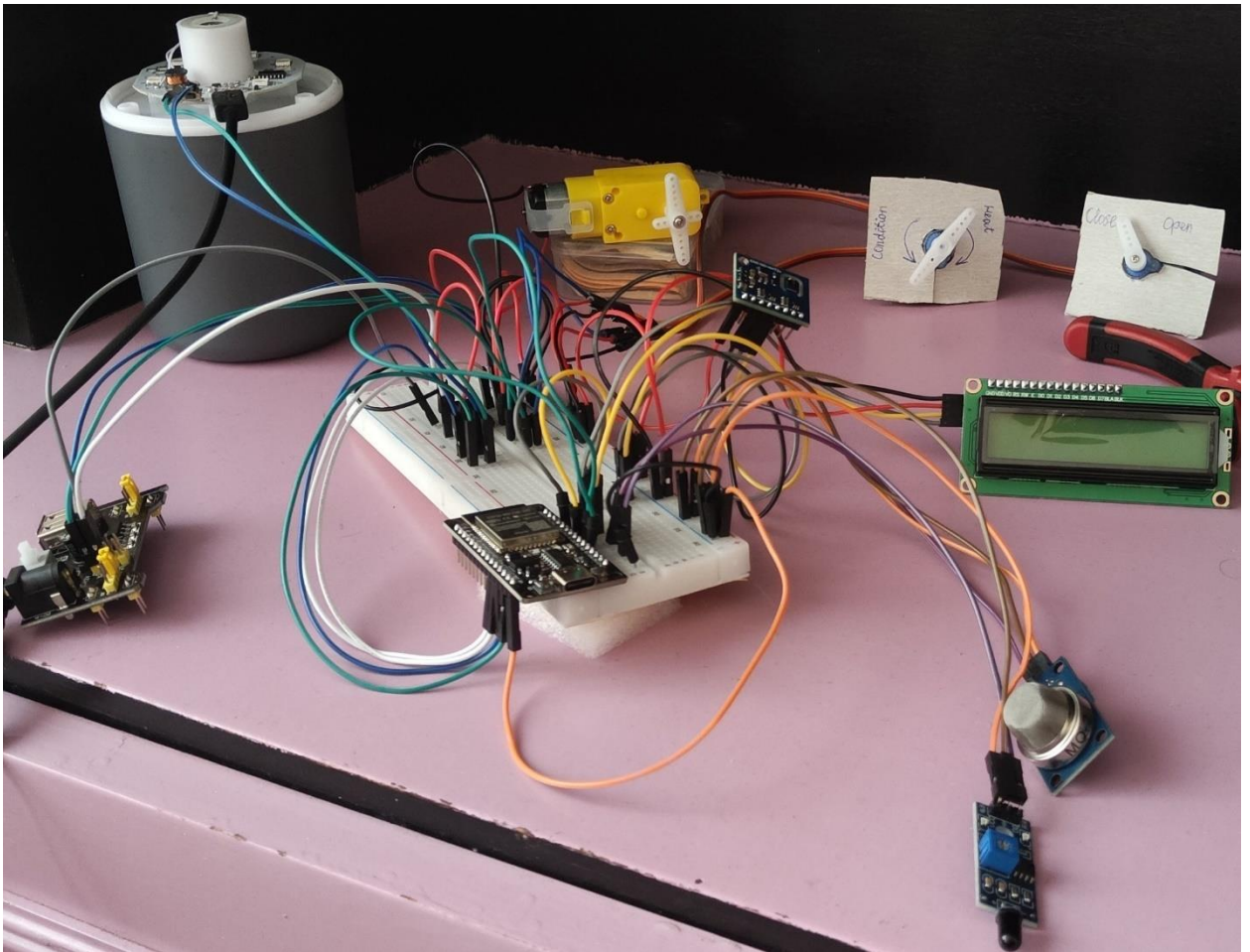


Рисунок 3.14 – Лабораторний макет системи

Для позначення режимів роботи сервоприводів які імітують спліт-систему та заслінки на них прикріплено картонні картки із позначеннями для розуміння що саме імітує та чи інша дія.

3.3 Розробка коду для мікроконтролера ESP-32

Спочатку потрібно загрузити бібліотеки для компонентів макету та для веб серверу через який буде спілкуватися з програмою управління системою, ініціалізувати піни, створити об'єкти для керування дисплеєм, датчиками та веб-сервером, також оголосити глобальні змінні для зберігання даних із

датчиків та стану системи. Далі розроблюється алгоритм роботи мікроконтролера. Сам алгоритм представлено на рисунку 3.15.

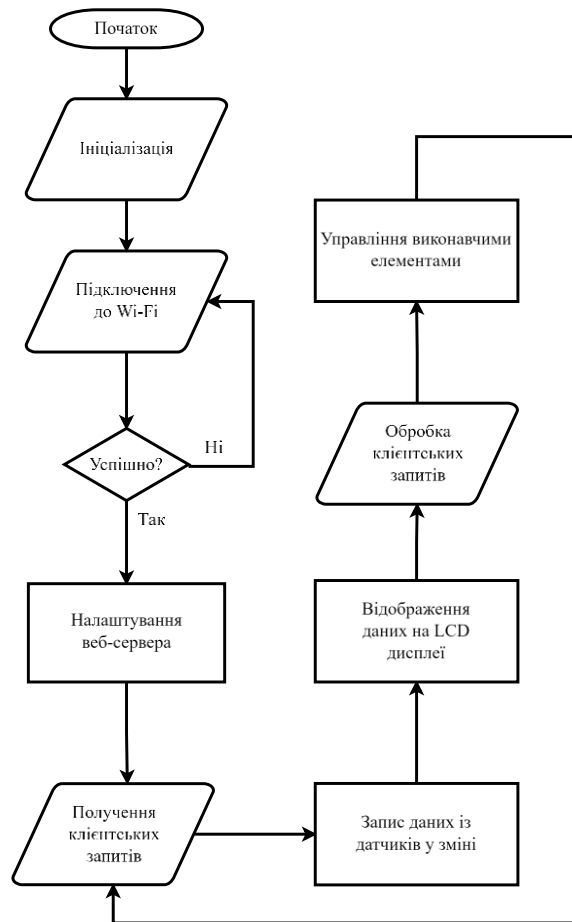


Рисунок 3.15 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера

При запуску мікроконтролера ініціюються змінні та бібліотеки. Наступним кроком є підключення до WIFI, спроба підключитися до WIFI не закінчиться поки не буде успішною. Далі йде налаштування веб-серверу, методів HTTP_GET та HTTP_POST, старт веб-сервера. Після цих дій йде цикл «loop()», його можна розділити на дві частини, а саме на веб-сервер та управління виконавчими пристроями.

Частина з веб-сервером чекає на HTTP_GET та HTTP_POST запити, і якщо ці запити надходять то ESP32 зчитає дані з датчиків та запише їх у змінні,

після чого виведе оновлену інформацію на дисплей, і тільки після цього виконуватиме клієнтський запит.

Якщо запити були виконані або не надійшли, то алгоритм переходить до блоку управління виконавчими елементами. Цей блок має свою логіку, тому для нього також потрібно розробити алгоритм. На рисунку 3.16 зображено алгоритм управління виконавчими елементами системи.

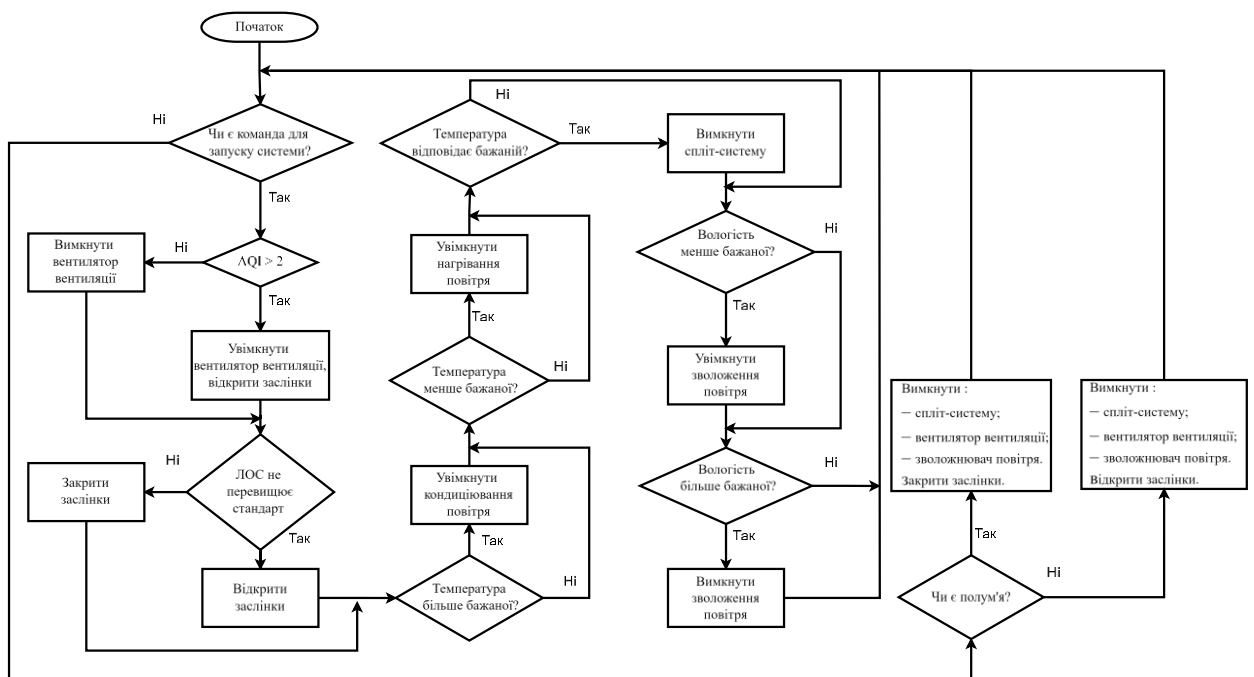


Рисунок 3.16 – Блок-схема управління виконавчими елементами

Як можна побачити все починається з перевірки, яка дивиться чи була дана команда на включення системи та чи нема зараз пожеги, якщо перевірка не була пройдена із-за того що команди на включення не було або датчик вогню спрацював, то далі йде перевірка на полум'я у приміщенні і якщо полум'я є то система повністю зупиняє всі пристрої та закриває заслінки. Якщо перевірку було пройдено та полум'я не виявлено, то система припинить роботу зупинивши всі пристрої, але не буде закривати заслінки, вони зостануться відкриті для пасивної вентиляції приміщення. До речі якщо система виключена, вона все одно буде реагувати на полум'я та закривати заслінки, це

зроблено для того щоб вогонь не поширювався ще сильніше від притоку кисню.

Якщо команда на включення дана, то система почне керувати виконавчими елементами. І перша перевірка проходить по індексу якості повітря, успішна перевірка дає команду на зупинку вентиляторів у вентиляції, в той час як неуспішна перевірка свідчить про поганий показник індексу якості повітря, та включає вентилятори і дає команду на відкриття заслінок.

Другою перевіркою система перевіряє TVOC на стандарт, якщо стандарт перевищено, то відкриваються заслінки вентиляції, в разі дотримання стандарту заслінки будуть закриті.

Третя перевірка порівнює температуру у приміщенні із заданою у програмі, після чого вирішується включити кондиціонування або нагрів повітря, а у разі відповідності значень спліт-система нічого не робить.

Четверта перевірка контролює вологість повітря, також як і в четвертій порівнює значення та включає зволожнювач якщо вологість у приміщенні не відповідає заданій.

Після розробки алгоритму потрібно написати код. Написаний код наведено у додатку А.

3.4 Розробка програми управління системою

Для системи потрібна керуюча програма, за допомогою якої можна буде легко контролювати параметри якості повітря та задавати бажані регульовані параметри, такі як температура та вологість. Програма повинна мати простий та зрозумілий інтерфейс. Також в програмі повинно бути сповіщення про роботу того чи іншого елемента системи, тобто кондиціонера або вентиляторів, також положення заслінок.

Розпочати треба с інтерфейсу, спочатку потрібно створити ескіз інтерфейсу, щоб було з чого писати його вигляд. Ескіз інтерфейсу представлено на рисунку 3.17.

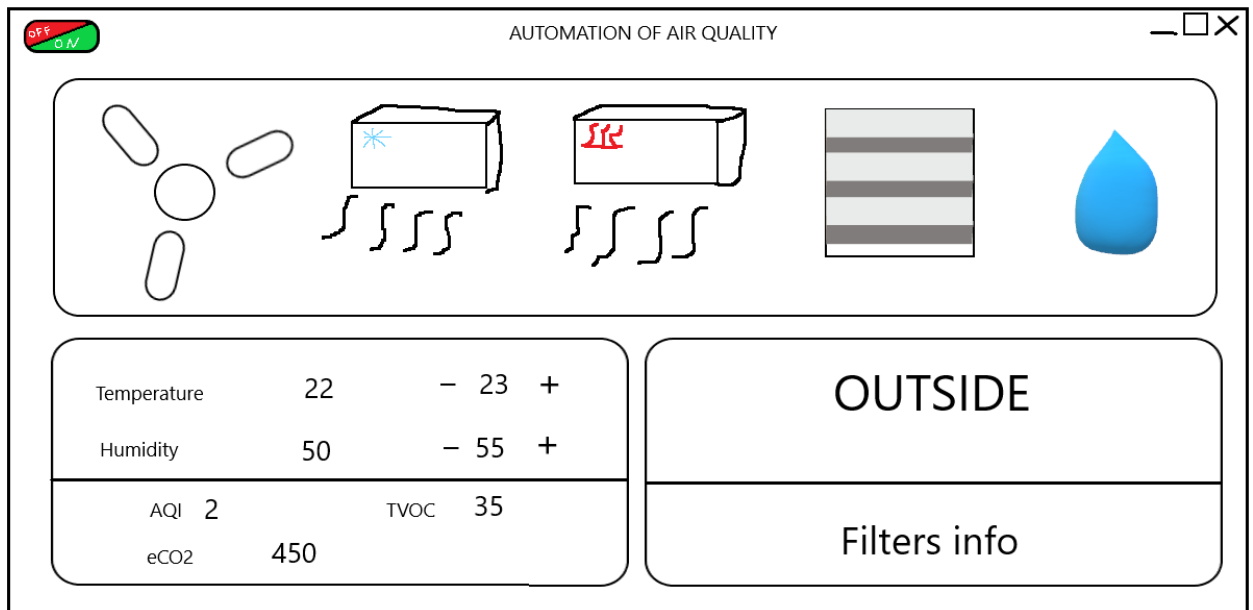


Рисунок 3.17 – Ескіз інтерфейсу керуючої програми

Програма буде розроблятися на мові C# за допомогою фреймворку avalonia версії 11.0.10.

Інтерфейс програми написано у файлі «MainWindow.axaml». Для інтерфейсу було використано чотири основних <Grid> та три <Border>, нарисовано 5 рисунків та 4 анімації, зроблено 3 іконки. Було розроблено клас «Styles» який в собі має стилі для кнопок та тексту. Також є клас «Icons» де через <StreamGeometry> нарисовано векторні зображення для іконок. Було розроблено десять конверторів для різної логіки відображення елементів інтерфейсу. Було зроблено підказки для різних елементів програми таких як текст та зображення, це можна побачити на рисунку 3.20. Код приведено у лістингу Б.1 додатку Б.

Візуальну обробку натискань кнопок у інтерфейсі написано у файлі «MainWindow.axaml.cs», наведено у лістингу Б.2 додатку Б.

При написанні програми було виявлено певні проблеми якщо комікувати з ESP32 через «SerialPort», тому було прийнято рішення повністю перейти на HTTP_GET та HTTP_POST запити.

Щоб отримувати дані з мікроконтролера було розроблено HTTP_GET запит «UpdateSensorDataAsync()», цей запит отримує сім змінних та записує їх у змінні програми.

Також програма має три HTTP_POST запити, перший для відправки логіки включення системи через кнопку «ON» та виключення при натисненні кнопки «OFF» це метод «SendOnOffBoolToESP()». Другий для відправки бажаної температури яку задав користувач програми, метод «SendTemperatureThresholdToESP()». А «SendHumidityThresholdToESP()» є третім методом який відправляє значення бажаної вологості повітря.

Було розроблено метод «GetWeatherDataAsync()» який підключається по API до сайту openweathermap.org та отримує від нього дані про населений пункт який вказано у програмі, таким чином можна отримати дані о погоді ззовні приміщення.

В програмі використовуються три таймери, два з них рахують час від зміни фільтрів та очищення пілозбірників у системі, щоб візуально бачити коли їх потрібно буде замінити або очистити.

Також в програмі реалізовано зберігання деяких параметрів в ізольованому сховищі, а саме бажаних температури та вологості і таймерів на забрудненість пілозбірників та фільтрів.

Всю ці методи програми написано у файлі «MainWindowViewModel.cs», код наведено у лістингу Б.3 додатку Б.

На рисунку 3.18 Можна побачити всі робочі файли, папки та класи які було створено у процесі розробки. У папці «Classes» знаходяться різні конвертори значень для візуалізації вентиляторів, спліт-системи, вентиляції та зволожувача повітря. У «Assets» знаходяться різні зображення, які використано у програмі. Папка «Styles» має в собі два класи типу «Styles» один для елементів програми, другий для векторних зображень. «ViewModels» потрібні для виконання обчислювальної логіки програми та інших задач. «Views» містить в собі код для графічного вигляду програми, та роботи з ним.

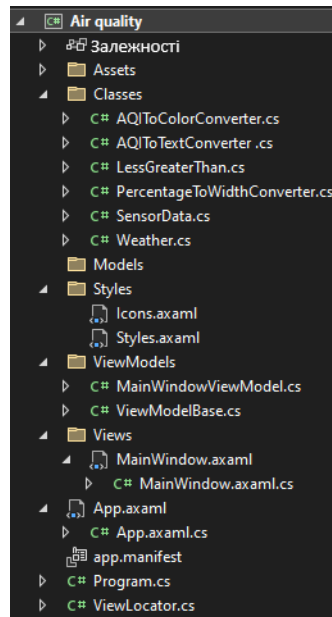


Рисунок 3.18 – Робочі файли, папки та класи програми

Після розробки програми вона має вид який зображено на рисунку 3.19.

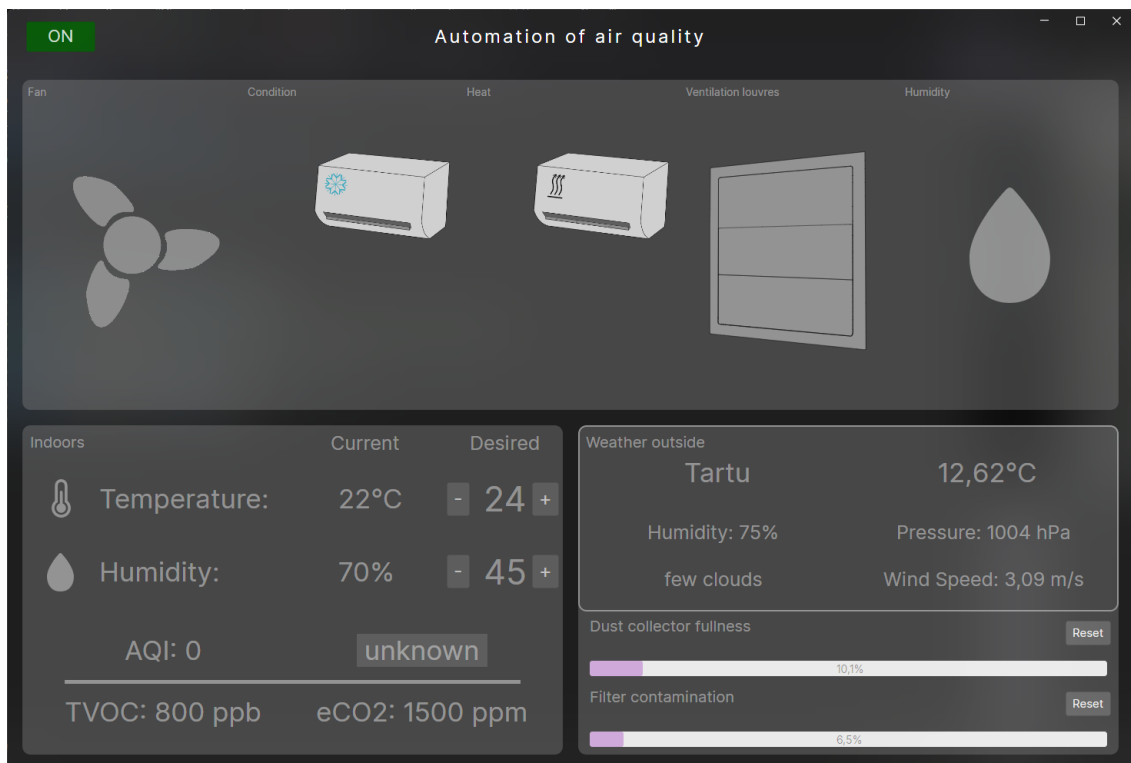


Рисунок 3.19 – Програма управління автоматизованою системою якості повітря

На рисунку 3.20 зображено як виглядає спливаюча підказка при заведенні курсора на елемент програми.



Рисунок 3.20 – Підказка при наведенні курсора на елемент програми

При роботі, всі картинки у верхньому блоці мають анімації роботи, окрім зволожувача повітря, він просто у виді голубої каплі.

Робота вентилятора анімована тим що він крутиться, що до спліт-системи, то вона розбита на два блоки, обігріву та кондиціювання, анімуються вони ефектом потоку. Заслінки просто мають два положення, відкриті та закриті. Нижче на рисунку 3.21 можна побачити вигляд зображень елементів системи у роботі.

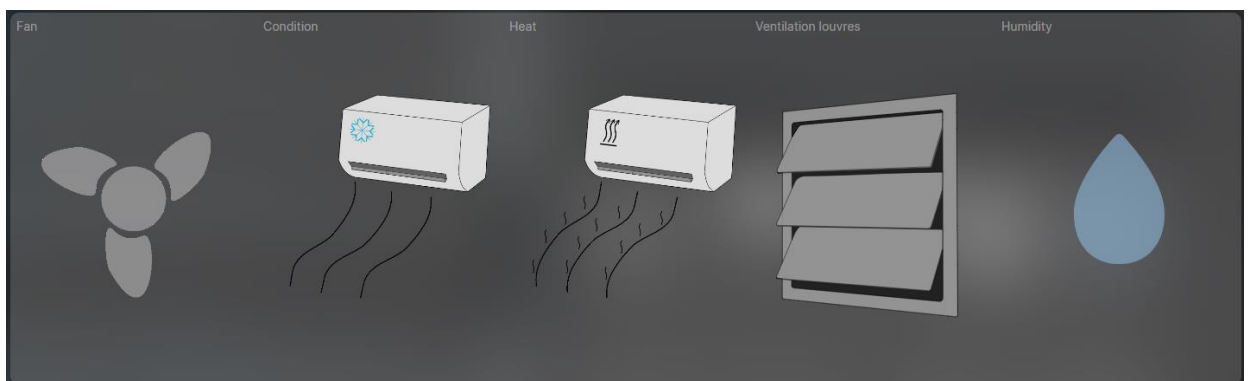


Рисунок 3.21 – Відображення елементів системи у роботі

Також система має змогу виявлення полум'я у приміщенні, тому й програма має змогу відображення інформації о пожежі, що й зображено на рисунку 3.22.

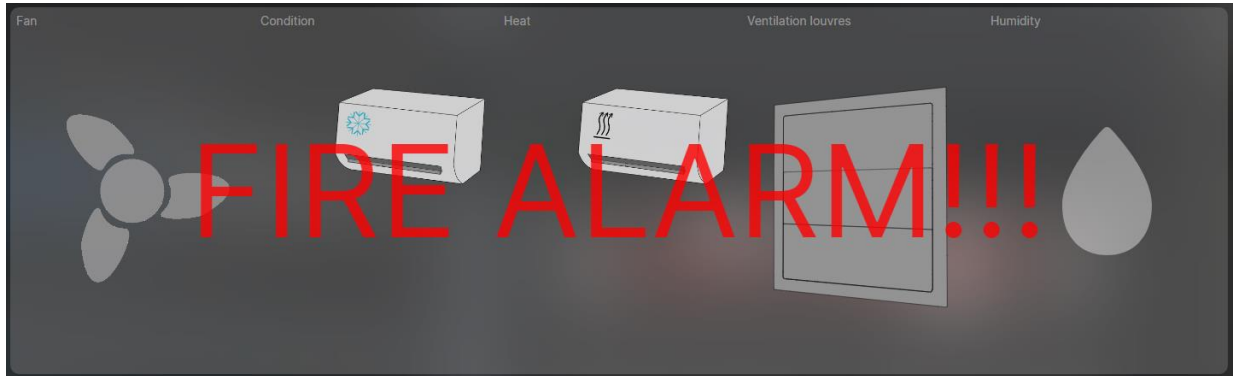


Рисунок 3.22 – Відображення елементів системи при пожежі

При виявленні полум'я система зупиняє всі елементи що й відображається у інтерфейсі, коли датчик перестане відсилати сигнал о пожежі системний інтерфейс прийде у звичайний стан.

4 РОЗРАХУНКИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Так як лабораторний макет розробленої системи не має реальної змоги контролювати всі параметри якості повітря, то і розрахунки провести неможливо, тому у цьому розділі будуть наведені формули за допомогою яких можна буде зробити моделювання та ідентифікацію якщо відтворити повноцінну систему.

В ТАУ (теорії автоматичного управління) при моделюванні системи проводять її синтез та аналіз, а вони напряду зв'язані із математичною моделлю, ця модель виходить в результаті математичного опису системи [15].

Для побудови математичної моделі, яка використовується в теорії автоматичного управління, нам необхідно поєднати отримані рівняння в єдину систему. Ця модель повинна описувати взаємодію між вхідними параметрами (сенсорами), контролером та виконавчими механізмами для досягнення бажаних вихідних параметрів.

4.1 Розрахунок математичних рівнянь

Вимірюємо параметри, такі як температура, вологість, рівень AQI, рівень TVOC, рівень eCO₂, наявність диму та полум'я. Використовуємо датчики для збирання цих даних протягом певного періоду.

На основі зібраних даних будуються математичні рівняння, які описують динаміку змін параметрів системи:

$$T(t) = T_{\text{виміряне}}(t) + n_T(t), \quad (4.1)$$

де $T(t)$ – реальне значення температури;

$T_{\text{виміряне}}(t)$ – виміряне значення;

$n_T(t)$ – шум сенсора.

$$H(t) = H_{\text{виміряне}}(t) + n_H(t), \quad (4.2)$$

де $H(t)$ – реальне значення вологості;

$H_{\text{виміряне}}(t)$ – виміряне значення;

$n_H(t)$ – шум сенсора.

$$AQI(t) = AQI_{\text{виміряне}}(t) + n_{AQI}(t), \quad (4.3)$$

$$TVOC(t) = TVOC_{\text{виміряне}}(t) + n_{TVOC}(t), \quad (4.4)$$

$$eCO2(t) = eCO2_{\text{виміряне}}(t) + n_{eCO2}(t), \quad (4.5)$$

де $AQI(t)$, $TVOC(t)$, $eCO2(t)$ – реальні значення якості повітря;

$AQI_{\text{виміряне}}(t)$, $TVOC_{\text{виміряне}}(t)$, $eCO2_{\text{виміряне}}(t)$ – виміряні значення;

$n_{AQI}(t)$, $n_{TVOC}(t)$, $n_{eCO2}(t)$ – шум сенсора.

$$Flame(t) = Flame_{\text{виміряне}}(t) + n_{Flame}(t), \quad (4.6)$$

$$Smoke(t) = Smoke_{\text{виміряне}}(t) + n_{Smoke}(t), \quad (4.7)$$

де $Flame(t)$, $Smoke(t)$ – реальні значення диму та полум'я;

$Flame_{\text{виміряне}}(t)$, $Smoke_{\text{виміряне}}(t)$ – виміряні значення;

$n_{Flame}(t)$, $n_{Smoke}(t)$ – шум сенсора.

Виконавчі механізми відповідають за зміну стану системи на основі команд від контролера. Їх математичні рівняння будуть такі:

$$u_{fan}(t) = K_{fan}(t) + PWM_{fan}(t), \quad (4.8)$$

де $u_{fan}(t)$ – вихідний вплив вентилятора;

$K_{fan}(t)$ – коефіцієнт пропорційності;

$PWM_{fan}(t)$ – ШІМ-сигнал для управління вентилятором.

$$u_{condi}(t) = K_{condi}(t) + PWM_{condi}(t), \quad (4.9)$$

де $u_{condi}(t)$ – вихідний вплив спліт-системи у режимі кондиціонування повітря;

$K_{condi}(t)$ – коефіцієнт пропорційності;

$PWM_{condi}(t)$ – ШІМ-сигнал для управління кондиціонуванням повітря.

$$u_{heat}(t) = K_{heat}(t) + PWM_{heat}(t), \quad (4.10)$$

де $u_{heat}(t)$ – вихідний вплив спліт-системи у режимі нагрівання повітря;

$K_{heat}(t)$ – коефіцієнт пропорційності;

$PWM_{heat}(t)$ – ШІМ-сигнал для управління нагріванням повітря.

$$u_{humid}(t) = K_{humid}(t) + PWM_{humid}(t), \quad (4.11)$$

де $u_{humid}(t)$ – вихідний вплив зволожувача;

$K_{humid}(t)$ – коефіцієнт пропорційності;

$PWM_{humid}(t)$ – ШІМ-сигнал для управління зволожувачем.

$$u_{vent}(t) = K_{vent}(t) + PWM_{vent}(t), \quad (4.12)$$

де $u_{vent}(t)$ – вихідний вплив вентиляції;

$K_{vent}(t)$ – коефіцієнт пропорційності;

$PWM_{vent}(t)$ – ШІМ-сигнал для управління вентиляцією.

4.2 Опис об'єкту управління

Об'єкт управління – це приміщення, в якому підтримується якість повітря. Його поведінка залежить від впливів виконавчих механізмів та зовнішніх факторів.

Динамічна модель приміщення:

$$\frac{d(AQI)}{dt} = -K_{vent} \cdot u_{fan}(t) - K_{condi} \cdot u_{condi}(t) + w_{ext}(t), \quad (4.13)$$

$$\frac{d(T)}{dt} = -K_{condi} \cdot u_{condi}(t) - K_{heat} \cdot u_{heat}(t) + w_T(t), \quad (4.14)$$

$$\frac{d(H)}{dt} = K_{humid} \cdot u_{humid}(t) + w_H(t), \quad (4.15)$$

де K_{vent} , K_{condi} , K_{heat} , K_{humid} – коефіцієнти впливу вентилятора, кондиціонера, обігрівача та зволожувача відповідно;

$w_{ext}(t)$, $w_T(t)$, $w_H(t)$ – зовнішні збурення, такі як відкриття дверей, вплив сонячного світла тощо.

Застосування математичних моделей для кожного елементу системи дозволяє більш точно описати їх поведінку та розробити ефективні методи управління. Ці моделі можуть бути використані для аналізу, синтезу та оптимізації системи управління якістю повітря на підприємстві.

4.3 Побудова моделі системи автоматичного управління

Для системи автоматичного управління необхідно врахувати зворотній зв'язок та регулятор, який буде коригувати вихідні параметри на основі відхилення від заданих значень.

Загальна структура моделі виглядає так:

- вхідні дані;
- помилка управління;
- контролери;
- зведена математична модель системи.

Вхідні дані це задані у програмі значення, тобто якщо подивитися у формулі (4.13) то це задане значення у помилці управління $e(t)$.

Помилка управління як у формулі (4.13):

$$e_{AQI}(t) = \text{задане значення}_{AQI} - AQI(t), \quad (4.16)$$

$$e_T(t) = \text{задане значення}_T - T(t), \quad (4.17)$$

$$e_H(t) = \text{задане значення}_H - H(t). \quad (4.18)$$

Контролери отримують дані від датчиків та генерують сигнали управління для виконавчих механізмів.

PID-контролер:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (4.19)$$

де $e(t)$ – вимірне значення – задане значення – помилка управління;

$K_p(t)$ – коефіцієнт пропорційного посилення;

$K_i(t)$ – коефіцієнт інтегрального посилення;

$K_d(t)$ – коефіцієнт диференційного посилення.

$$u_{fan}(t) = K_{p1}e_{AQI}(t) + K_{i1}\int e_{AQI}(t) dt + K_{d1}\frac{de_{AQI}(t)}{dt}, \quad (4.20)$$

$$u_{condi}(t) = K_{p2}e_T(t) + K_{i2}\int e_T(t) dt + K_{d2}\frac{de_T(t)}{dt}, \quad (4.21)$$

$$u_{humid}(t) = K_{p3}e_H(t) + K_{i3}\int e_H(t) dt + K_{d3}\frac{de_H(t)}{dt}. \quad (4.22)$$

Динамічна модель приміщення це формули (4.14)-(4.16).

Зведена математична модель системи має такий вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Помилка управління:} \\ e_{AQI}(t) = \text{задане значення}_{AQI} - AQI(t) \\ e_T(t) = \text{задане значення}_T - T(t) \\ e_H(t) = \text{задане значення}_H - H(t) \\ \text{Контролери:} \\ u_{fan}(t) = K_{p1}e_{AQI}(t) + K_{i1}\int e_{AQI}(t) dt + K_{d1}\frac{de_{AQI}(t)}{dt} \\ u_{condi}(t) = K_{p2}e_T(t) + K_{i2}\int e_T(t) dt + K_{d2}\frac{de_T(t)}{dt} \\ u_{humid}(t) = K_{p3}e_H(t) + K_{i3}\int e_H(t) dt + K_{d3}\frac{de_H(t)}{dt} \\ \text{Динамічна модель приміщення} \\ \frac{d(AQI)}{dt} = -K_{vent} \cdot u_{fan}(t) - K_{condi} \cdot u_{condi}(t) + w_{ext}(t) \\ \frac{d(T)}{dt} = -K_{condi} \cdot u_{condi}(t) - K_{heat} \cdot u_{heat}(t) + w_T(t) \\ \frac{d(H)}{dt} = K_{humid} \cdot u_{humid}(t) + w_H(t) \end{array} \right. \quad (4.23)$$

Отримана математична модель описує взаємодію між датчиками, контролерами та виконавчими механізмами. Вона дозволяє аналізувати поведінку системи в різних умовах, оцінювати вплив зовнішніх збурень та оптимізувати параметри регуляторів для досягнення бажаних значень показників якості повітря, температури та вологості. По отриманим

математичним моделях була нарисовано блок-схема системи автоматизації якості повітря, яку зображено на рисунку 4.1.

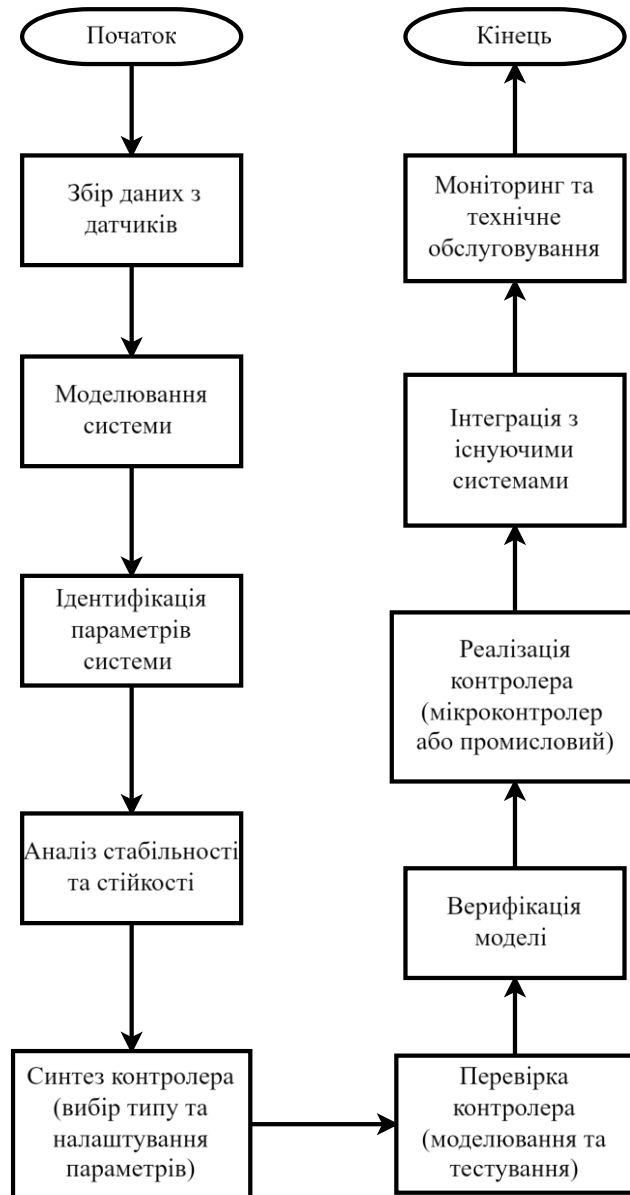


Рисунок 4.1 – Блок-схема системи автоматизації якості повітря за ТАУ

4.4 Охорона праці

Система автоматизації якості повітря має забезпечувати безпечні умови праці, знижувати ризики виробничого травматизму, професійних захворювань та інші небезпечні фактори. Основні кроки для забезпечення охорони праці включають ідентифікацію небезпек, оцінку ризиків і впровадження відповідних заходів безпеки.

У цьому розділі буде виявлення можливих чинників небезпек при експлуатації системи автоматизації якості повітря, що спричиняють можливість виробничого травматизму, професійних захворювань, отруєнь, пожеж, вибухів, забруднення навколишнього середовища.

Тож до виробничого травматизму можна віднести:

- неправильне поводження з електронними компонентами;
- несправність сенсорів та інших компонентів системи.

До професійних захворювання та отруєнь:

- недостатня вентиляція та накопичення шкідливих речовин у повітрі;
- вплив шкідливих хімічних речовин на організм.

До пожежі та вибухів:

- короткі замикання в електронних компонентах;
- наявність легкозаймистих матеріалів у приміщенні.

Забруднення навколишнього середовища можна віднести тільки викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Для того щоб уникнути потрібно регулярно проводити заходи з охорони праці. Навіть така, на перший погляд проста, система може призвести до серйозних наслідків. Основне що потрібно знати про охорону праці системи автоматизації для управління якістю повітря у виробничому приміщенні це:

- ні в якому разі не сувати нічого до рухомих частин системи;
- вчасно обслуговувати елементи системи, так як це може призвести до захворювання, отруєнь та інших проблем;
- не обслуговувати систему поки вона повністю не знеструмиться;

- якщо при запуску програми управління чи при подачі живлення на систему датчики дають недостовірні або нереальні показання то систему не слід запускати, спочатку треба виявити несправність та виправити її;
- якщо датчик диференціального тиску звіщає про плохий потік повітря то слід зупинити та знеструмити систему і після цього поміняти фільтри у вентиляції;
- якщо приміщення по якійсь причині задимлене то слід його покинути, а не надіятися на витяжну систему;
- якщо при запуску системи з її компонента підіймається дим то систему слід вимкнути та знеструмити, після чого перевірити компонент на дефекти;
- не слід ставити легкозаймистих матеріалів біля спліт-систем, при включенні обігрівачу вони можуть спалахнути;
- не слід стояти напроти спліт-систем, у режимі кондиціонування великий ризик застудитися, а у режимі обігріву отримати опік;
- ні в якому разі не запускати систему при несправності датчиків або інших компонентів системи;
- не виставляти дуже низьку температуру у програмі управління, це може привести до захворювань;
- не виставляти дуже високу температуру у програмі управління, це може привести до появи пожежі;
- при пожежі не намагатися включити або виключити систему, вона автоматично вимикає всі пристрої та закриває заслінки щоб уникнути різких спалахів та розповсюдження пожежі.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи було проведено аналіз приміщень, в яких може знадобитися автоматизована система управління якістю повітря. Було проведено аналіз методів вимірювання параметрів якості повітря та за допомогою яких датчиків або систем моніторингу це можна зробити. Було проведено аналіз вже існуючих подібних систем для більш кращого розуміння завдання. Також було розглянуто та проаналізовано як саме можна контролювати якість повітря, якими методами. Було виявлено стандарти якості до повітря у приміщеннях, які фільтри використовуються для приміщень відносно того наскільки чисте повітря повинно бути.

Система розроблювалася для виробничих приміщень, переважно орієнтованих на вироблення електронних компонентів. Для таких приміщень є критичними параметрами статична електрика та тверді частинки. Вологість повітря контролює статичну електрику, а тверді частинки за допомогою фільтрів. Встановлювати датчики для постійного моніторингу твердих частинок немає сенсу, так як вони контролюються тільки за допомогою фільтрів у цій системі згідно стандартів якості. Система може швидко реагувати на зміни у температурі, вологості та індексу якості повітря на основі значень еквіваленту вуглекислого газу або летких органічних сполук.

Для вбудовування такої системи у виробниче приміщення потрібно:

- відповідні датчики для вимірювань параметрів якості повітря;
- система вентиляції із вбудованими у конструкцію вентиляторами та фільтрами які будуть відповідати стандартам ISO 16890 та ISO 29463, ще вони повинні бути легко змінними;
- вентилятори для примусової вентиляції.
- для контролю забрудненості фільтрів можна встановити диференціальний манометр;
- встановлені спліт-системи, бажано однакових моделей або від одного

виробника;

- зволожувачі повітря, або окремі або вбудовані у спліт-системи;
- мікроконтролер ESP32-WROOM-DA;
- живлення для мікроконтролера.

Були виконані наступні задачі:

- проведено аналіз існуючих проєктів;
- проведено аналіз приміщень, котрим потрібна подібна система;
- здійснено огляд пристроїв моніторингу якості повітря;
- проведено аналіз вимог до системи;
- проведено розбір методів контролю якості повітря;
- визначені стандарти якості повітря та сформовано таблиці 2.3-2.5 до стандарту якості повітря EN 13779;
- розроблено віртуальний вид схеми та зібрано лабораторний макет системи;
- розроблено програму для системи автоматизації якості повітря;
- зроблено розрахунки для моделювання системи автоматичного управління;
- розроблено підрозділ про охорону праці;
- кваліфікаційна робота була оформлена згідно ДСТУ 3008:2015, а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
3. Рекуперація тепла в системі вентиляції. EXSYS. URL: <https://exsys.com.ua/systema-ventyliatsii-z-rekuperatsiieiu-tepla-normy-perevahy-vukorystannia-rekuperatsii/> (дата звернення: 07.05.2024).
4. ENS160 Digital Metal Oxide Multi-Gas Sensors - ScioSense | Mouser. Mouser. URL: <https://eu.mouser.com/new/sciosense/sciosense-ens160-sensors/> (date of access: 07.05.2024).
5. AHT21 Integrated temperature and humidity sensor-Sensor-Temperature and Humidity-Guangzhou Aosong Electronic Co., Ltd. Aosong. URL: <http://www.aosong.com/en/products-60.html> (date of access: 07.05.2024).
6. Ajax FireProtect чорний - Датчик диму | Магазин систем AJAX. Інтернет-магазин систем Ajax. URL: <https://alarm.bezpeka.systems/ua/product/ajax-fireprotect-black/> (дата звернення: 07.05.2024).

7. AQMesh система моніторингу якості повітря - Автоекосприлад. Автоекосприлад. URL:

https://aep.kiev.ua/uk/shop/portable_air_quality_monitoring-uk/aqmesh-sistema-monitoring-kachestva-vozduha/#:~:text=AQMesh%20-%20це%20система%20контролю%20якості,даних%20у%20режимі%20реального%20часу. (дата звернення: 07.05.2024).

8. Ультразвуковий зволожнювач повітря Celsius HD-15. Maxton - спеціалізована техніка для дому та промисловості. URL: https://maxton.com.ua/humidifiers/prom_humidifiers/ultrazvukovoy-uvlazhnilitel-vozduha-celsius-hd-15 (дата звернення: 28.05.2024).

9. SPX-17059 SparkFun Industrial Temperature Sensors PT100 Sensor datasheet, inventory & pricing. Mouser. URL: <https://eu.mouser.com/ProductDetail/SparkFun/SPX-17059?qs=81r%2BiQLm7BRS5gM7laJEnQ==> (date of access: 28.05.2024).

10. YiDey NTC Temperature Sensor Boiler For Water Heating, Gas Water Heater Spare Parts (1 PCS Red) : Amazon.co.uk: DIY & Tools. Amazon.co.uk. URL: <https://www.amazon.co.uk/Temperature-Sensor-Boiler-Heating-Heater/dp/B0BYJ5SXSQ> (date of access: 29.05.2024).

11. EN 13779 | Camfil Õhufiltrid. Camfil Õhufiltrid. URL: <https://www.camfil.ee/content/en-13779> (дата звернення: 29.05.2024).

12. 0.93€ 92% OFF|ESP32 Development Board Wireless WiFi Bluetooth module Ultra Low Power Consumption Dual Core 30Pin ESP32 WROOM 32S 32D ESP 32| | - AliExpress. aliexpress.us. URL: <https://www.aliexpress.us/item/3256806150650156.html> (date of access: 02.06.2024).

13. 1.21€ 55% OFF|3.3V/5V MB102 Breadboard power module+MB 102 830 points Prototype Bread board for arduino kit +65 jumper wires wholesale| | - AliExpress. aliexpress.us. URL: <https://www.aliexpress.us/item/3256806796663258.html> (date of access: 02.06.2024).

14. 0.93€ 72% OFF|LCD1602 I2C Display Module Blue Green Screen 5V PCF8574 IIC Adapter Llate for Arduino| | – AliExpress. aliexpress.us. URL: <https://www.aliexpress.us/item/3256805913767190.html> (date of access: 03.06.2024).

15. Теорія автоматичного управління (збірник задач) [Текст]: навч. посіб. для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарєва; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків: Панов А.М., 2020. – 240 с.

16. Сириця О. О. АПАРАТНО-ПРОГРАМНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОВІТРЯ В ЦЕХУ. НАУКОВИЙ ШЛЯХ МОЛОДІ: АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ, РІШЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ: Міжнар. студент. наук. конф., м. Хмельницький, 13 жовт. 2023 р. / Наук. керівник Сезонова І. К.. Хмельницький, 2023. С. 57-60. URL: <https://doi.org/10.36074/liga-inter-13.10.2023> (дата звернення: 12.06.2024).